Il Secolo XIX
nella vita e nella coltura dei popoli

Il Secolo XIX

nella vita e nella cultura dei popoli

L' ASTRONOMIA

DI

Giovanni Celoria
Direttore del R. Osservatorio Astronomico di Brera

LA FISICA TERRESTRE

DI

Luigi De Marchi
Libero Docente di Metereologia nella R. Univ. di Pavia

221 figure — 3 tavole in nero e colorate fuori testo

CASA EDITRICE
DOTTOR FRANCESCO VALLARDI
MILANO
Roma - Napoli - Torino - Genova - Firenze - Bologna
Pisa - Catania - Bari - Pavia - Cagliari - Sassari - Padova - Palermo
Trieste - Buenos Ayres - Alessandria d'Egitto

INDICE

ASTRONOMIA.

Astronomia in generale — Istrumenti — Osservatorii astronomici.

I.

L'Astronomia in sul principio del Secolo XIX: Difficoltà di una sintesi dei progressi astronomici nel nostro secolo — L'Astronomia è la più antica delle scienze — Il progresso delle cognizioni astronomiche avviene con moto accelerato — L'Astronomia verso il 1800 era già di molto progredita — Grado di esattezza delle osservazioni sue — Perfezioni degli strumenti in uso — Astronomia teorica e cognizioni sul sistema del sole nel 1800 — Oservatorii pubblici esistenti — Carattere delle pubblicazioni astronomiche e delle relazioni fra gli astronomi. . . . Pag. 3

II.

L'Astronomia in Italia verso il 1800: La scienza italiana nel secolo decimoquinto — Galileo Galilei — Gian-Domenico Cassini e il secolo decimosettimo — Gli osservatorii e gli astronomi italiani nel secolo decimottavo — Rigoglio degli studii astronomici nel 1800. . . . . . . » 12

III.

Prime pubblicazioni periodiche mensili astronomiche del secolo XIX: Primo giornale astronomico internazionale — Potenza crescente del giornalismo scientifico — L' istituto Smitsoniano e la corrispondenza telegrafica fra tutte le specole della terra — Associazioni astronomiche nazionali e internazionali. . . . . » 18

IV.

Gli osservatorii astronomici: Numero degli osservatorii esistenti — Loro distribuzione — Criterii diversi successivamente seguiti nell' impianto e nella costruzione degli osservatorii — Strumenti collocati su alti edificii — Strumenti posti a poca altezza sul suolo — Osservatorio di Napoli — Osservatorio di Pulkova — Influenza dell'atmosfera terrestre sulle osservazioni astronomiche — Necessità di un' atmosfera trasparente e calma — Clima degli alti monti — Osservatorio Lick — Osservatorio etneo — Osservatorii sul Mont-Gros e sul Mont-Mounier — Osservatorio sul Monte Bianco — Osservatorii diversi di montagna — Nuovo punto di vista da cui si considera la costruzione di un osservatorio — Osservatorio centrale — Osservatorii succursali — Osservatorio del Collegio Harvard — Osservatorio di *Arequipa*. . . . . » 21

V.

Le specole italiane: Osservatorio di Capodimonte a Napoli — Osservatorii di Sicilia, Palermo, Catania, Etna — Osservatorii di Roma, Collegio Romano, Campidoglio, Gianicolo, Vaticano — Osservatorii di Firenze, Museo, Arcetri, Ximeniano — Osservatorio di Bologna — Osservatorio di Modena — Micrometro oculare di Amici — Micrometro obbiettivo di Dollond — Eliometro di Fraunhofer — Osservatorio di Torino — Osservatorio di Brera in Milano — Osservatorio di Padova — Osservatorii Dembowski di S. Giorgio a Cremano e di Cassano Magnago — Osservatorii di Genova, di Moncalieri, di Parma, di Teramo, di Venezia — Considerazioni generali sugli osservatori d'Italia e su quelli d'Inghilterra e delle Americhe. . . . . » 32

VI.

I cannocchiali astronomici: Loro elementi essenziali — Obbiettivo — Oculare — Caratteri loro principali — Potenza luminosa — Forza di penetrazione — Perfezione delle immagini — Condizioni che producono la bontà di un cannocchiale — Da che derivi ad un cannocchiale l' appellativo di grande — Industria della fusione dei vetri ottici e industriali più rinomati — Arrotatura dei vetri ottici e i più apprezzati costruttori di cannocchiali — Progressiva grandezza dei cannocchiali costrutti nel secolo XIX — I più grandi cannocchiali del secolo — Loro montatura equatoriale — Equatoriale con cannocchiale spezzato — Grande cannocchiale dell' Esposizione di Parigi (1900) e disposizione generale delle sue parti. . . . . Pag. 54

VII.

I telescopi: Loro parti integranti — Specchio — Oculare — Specchi metallici — Specchi di vetro — Grandi telescopi di Rosse, di Lassel, di Foucault — Martia, di Grubb — Paragone dei canocchiali e dei telescopi. . . . . » 63

VIII.

Fotografia celeste, strumenti astrofotografici: Difficoltà della fotografia astronomica — Mobilità degli astri — Piccole dimensioni e contorni indeterminati delle ordinarie immagini fotografiche — Foto-eliografi — Telescopi o cannocchiali fissi con eliostato — Acromatismo delle lenti destinate alla fotografia astronomica — Lenti otticamente oppure chimicamente acromatiche — Perfezionamenti successivi dei procedimenti fotografici — Lastre umide a collodio — Lastre secche a gelatina bromuro di argento — Inalterabilità della pellicola sensibile e delle lastre fotografiche — Precisione delle misure che su queste lastre si possono eseguire — Strumento per le misure stesse — Astro-foto-eliografi — Strumenti equatoriali fotografici — Paragone dell'occhio umano e della lastra fotografica sensibile. . . . . » 69

IX.

Spettroscopi e spettroscopia: Fatti fondamentali della Spettroscopia — Spettro luminoso solare e righe di Fraunhofer — Invenzione e perfezionamenti successivi dello spettroscopio — Ricerche di Wheatstone — Spettri continui — Spettri discontinui — Ricerche di Kirchhoff e di Bunsen — Rapporto fra le righe oscure dello spettro continuo e le righe lucide dello spettro discontinuo — Rovesciamento delle righe — La spettroscopia applicata all' Astrofisica e le scienze intermedie — Considerazioni generali. . . . . » 78

Sistema planetario — Sole — Stelle — Nebulose.

I.

I piccoli pianeti: Legge di Bode — Lacuna esistente fra i pianeti Marte e Giove — Osservazione e scoperta di Giuseppe Piazzi a Palermo — Il nuovo pianeta Cerere — Determinazione della sua orbita e difficoltà teoriche del problema — Sua soluzione — Federico Gauss — I nuovi pianeti Pallade, Giunone, Vesta, Guglielmo Olbers — Nuove scoperte di piccoli pianeti a cominciare dal 1845 — L' anno 1891 e l' applicazione della fotografia all' osservazione e alla ricerca dei piccoli pianeti — Numero grande dei piccoli pianeti già trovati — Calcoli laboriosi che ogni piccolo pianeta richiede — Ingente lavoro degli astronomi del secolo intorno ai piccoli pianeti scoperti — Difficoltà che in esso si possa perdurare — Questioni insolute che si collegano ai piccoli pianeti — Il piccolo pianeta Eros (433) — Ogni nuova scoperta di piccolo pianeta ha una importanza scientifica indiscutibile. . . . . » 83

II.

Il pianeta Nettuno: Teoria del pianeta Urano — Anomalie dimostrate da Bouvard nel movimento di questo pianeta — Causa di queste anomalie e scoperta del pianeta Nettuno — U. Le Verrier — G. C. Adams — Orbita di Nettuno — Sua teoria — Sue tavole — Suo spettro — Suo satellite. . . . . » 93

III.

Le comete: Grandi comete del 1858, del 1861, del 1862, del 1874, del 1880, del 1881, del 1882, del 1887 — Moto delle comete nello spazio — Luce delle comete — Spettro luminoso delle comete — Materiali onde risultano le masse delle comete — Loro tenuità — Teoria delle code delle comete — D'onde vengano le comete — Numero delle comete — Sistemi di comete — Comete periodiche — Captura delle comete — La cometa di Encke e l' etere resistente — La cometa di Biela e il frantumarsi delle comete — Probabile dispersione continua e progressiva dei materiali delle comete — Prime osservazioni di comete. . . . . Pag. 96

IV.

Le stelle cadenti: Prime osservazioni di cadenti — Risultati delle osservazioni fatte durante la prima metà del secolo XIX — Difficile loro spiegazione e insufficienti teorie diverse immaginate — L'anno 1866 e la teoria astronomica delle stelle cadenti — Sciami meteorici — Radianti — Organizzazione delle osservazioni di cadenti nell' ultimo trentennio del secolo XIX — Stelle cadenti di straordinario splendore — Bolidi — Se cadenti e bolidi sieno o non una stessa cosa rimane per il momento insoluto. . . . . » 112

V.

Scoperta dei satelliti di Marte: Deimos e Fobos — Forma di Marte — Durata della rotazione — Fenomeni della sua superficie — Aregrafia — Giove e la sua massa — Splendore e luce di Giove — Apparenze della sua superficie — Ipotesi sulla costruzione sua — I quattro satelliti scoperti da Galileo — Il nuovo o quinto satellite scoperto nel 1892. . . . . » 121

VI.

Mercurio: Sua luce — Sua atmosfera — Sue macchie permanenti — Sua rotazione — Suoi passaggi sul disco del Sole — Difficoltà della sua teoria e pianeta intramercuriale — Passaggi di Venere sul disco del Sole e loro importanza — Passaggi del 1874 e del 1882 — Teoria del movimento di Venere — Costituzione fisica del pianeta e difficoltà che si incontrano nello studio suo — Macchie di Venere — Sua atmosfera — Durata della sua rotazione — Terra — Sua forma — Sue dimensioni — Durata della sua rotazione — Variazioni delle latitudini terrestri — Movimento dei poli della rotazione della Terra sulla sua superficie. . . . . » 129

VII.

Luna: teorie e tavole lunari — Accelerazione secolare del movimento lunare — Costituzione fisica della luna — Luce e calore lunare — Atmosfera della luna — Questione riguardante la mutabilità o l' inalterabilità della superficie lunare — Carte della luna — Fotografie sue — Saturno — Suo nuovo e nono satellite — Sistema degli anelli di Saturno e sua mutabilità — Teorie matematiche relative al sistema stesso — Condizioni fisiche probabili del corpo del pianeta — Massa di Saturno e teorie de' suoi satelliti — Urano — Sua teoria — Suoi satelliti — Sua forma — Sua rotazione — Suo spettro luminoso. . . . . » 140

VIII.

Sole: Sua teoria — Sue tavole — Suo moto di traslazione — Sua distanza dalla terra — Suo diametro apparente — Suo diametro reale — Sua massa — Fisica solare — Fotosfera — Significato delle righe di Fraunhofer — Struttura e materiali della fotosfera — Macchie — Rotazione del sole — Distribuzione e periodicità delle macchie — Teoria intorno alla loro natura — Dettagli e struttura della fotosfera — Eclissi totali di sole — Canone delle eclissi — Cromosfera, protuberanze, corona del sole — Luce zodiacale — Protuberanze bianche — Nucleo solare e relative ipotesi — Energia del sole — Luminosità, calore e temperatura — Stato delle cognizioni nostre intorno al sole — Problemi che l' avvenire dovrà risolvere a riguardo del sole. . . . » 150

IX.

Astronomia stellare: Cataloghi delle stelle — Revisione del cielo boreale fatta da Argelander e impulso da essa dato all'astronomia siderale — Lavori di Beniamino Gould — Grande numero dei cataloghi pubblicati — Carta astro-fotografica e catalogo fondato esclusivamente su osservazioni fotografiche — Fisica stellare — Spettri delle stelle e tipi ai quali si possono ridurre — Relazione fra lo spettro, la temperatura e la costituzione chimica di una stella — Stelle multiple — Scintillazione, colore, e grandezza delle stelle — Stelle variabili — Nebulose — Sintesi dei progressi astronomici nel secolo XIX — Avvenire dell' astronomia. . . . » 165

Gli astronomi italiani del secolo XIX. . . . . » 181

I principali astronomi stranieri del secolo XIX. . . . . » 184

FISICA TERRESTRE.

Introduzione.

Varenius — Stenone — Teoria della Terra — Progressi delle scienze nel secolo XVIII — La Filosofia naturale — Alessandro von Humboldt — Carlo Ritter — Oscar Peschei — Progressi della fisica e della geologia nel secolo XIX — La nuova fisica terrestre. . . . . . . Pag. 191

Gravità, forma e costituzione della terra.

Ellissoide terrestre — Misure di gravità — Pendolo di Sterneck — Batometri e gasvolumetri — Moti microsismici — Pendolo bifilare e pendolo orizzontale — Calore centrale — Teorie plutoniche — Teorie orogenetiche — Rigidità della terra — Vibrazioni sismiche — Densità della terra. . . . . » 216

Il magnetismo terrestre.

Magnetiche osservazioni — Carte magnetiche — Intensità del magnetismo terrestre — Teoria di Gauss — Magnetismo — Variazioni del magnetismo — Teoria delle variazioni magnetiche. » 226

Meteorologia.

Fenomeni ottici — Prima carta delle isoterme — Termometri — Barometri e igrometri — Anemometri — Formola besselliana — Periodi diurno e annuo — Periodi meteorologici — Influenza della luna — Carta delle isanomale — Carte delle isobare — Circolazione atmosferica — Maury e Ferrel — Legge di rotazione di Dove — Legge di Buys-Ballot — Carte del tempo — Tipi isobarici — Previsione del tempo — Meteorologia matematica — Teoria dei cicloni — Osservazioni di montagna — Ascensioni aerostatiche — Cervi volanti — Elettricità atmosferica — Elettrometri — Elettricità atmosferica — Fulmine — Teoria della grandine e dei temporali — Nubi — I desiderati della meteorologia. . . . . » 257

La fisica del mare.

Scandagli — Termometri di scandaglio — Spedizioni talassografiche — Temperatura dell'Oceano — Temperatura del Mediterraneo — Isoterme superficiali — Ghiacci marini — Formazione e movimenti dei ghiacci — Salsedine dei ghiacci — Correnti — Il Gulf-Stream — Teoria delle correnti Oceaniche — Maree — Teoria di marea — Attrito di marea. . . . . . » 278

Fisica dei continenti.

Altimetria col barometro — Geologia fisica — Idraulica e idrologia — Cicli idrografici — Cattura dei fiumi — Ghiacciai — Teoria del movimento dei ghiacciai — Struttura interna dei ghiacciai — Oscillazioni periodiche dei ghiacciai — Era glaciale — Escavazione dei laghi — Acque sotterranee — Geyser-Sedimenti eolici — Genesi delle forme del paesaggio — Evoluzione del paesaggio — La terra e l'uomo. . . . . » 274

L'ASTRONOMIA
NEL SECOLO XIX

PARTE PRIMA

Astronomia in generale — Istrumenti — Osservatorii astronomici

I.

L'Astronomia in sul principio del Secolo XIX: Difficoltà di una sintesi dei progressi astronomici nel nostro secolo — L'astronomia è la più antica delle scienze — Il progresso delle cognizioni astronomiche avviene con moto accelerato — L'astronomia verso il 1800 era già di molto progredita — Grado di esattezza delle osservazioni sue — Perfezione degli strumenti in uso — Astronomia teorica e cognizioni sul sistema del sole nel 1800 — Osservatorii pubblici esistenti — Carattere delle pubblicazioni astronomiche e delle relazioni fra gli astronomi.

Fare una sintesi dei progressi dell'astronomia nel secolo che sta per tramontare è impresa più ardua di quello che a prima giunta possa apparire; da una parte si ha a percorrere un campo vasto, grandioso, complesso; dall'altra s' ha a fare con una scienza molto antica, e più una scienza è tale, più intenso e più vario ne diventa il progresso, il quale, per una legge storica ben nota, si fa con movimento accelerato.

L' astronomia è la prima scienza induttiva che siasi formata, ed è di gran lunga la più antica delle scienze obbiettive, sicchè tutte le altre di molto precede nell' evoluzione sua. A grande distanza di tempo la seguono le scienze fisiche e le chimiche relativamente moderne; a maggior distanza le scienze geografiche e le geologiche di origine recente; a distanza ancor maggiore le scienze biologiche, quasi contemporanee nostre per l' origine loro.

La ragione dell'antichità dell'astronomia sta nella natura stessa dei fenomeni fondamentali che ne formano l'oggetto, i quali più d'ogni altro sono suscettibili di una espressione semplice e di misura. Rispetto ai medesimi l' uomo, che pure è trascinato verso il ragionamento puro e solo tardi e a malincuore si piega e si adatta all' osservazione positiva e sistematica, presto sentì che a nulla valgono le osservazioni accidentali, che la semplice constatazione dei fatti non basta a costituire la scienza, che nella ricerca dei rapporti esistenti fra i fatti sistematicamente osservati, che nella induzione delle leggi dai quali i fatti son governati e delle cause dalle quali sono prodotti, che nel mettere le leggi stesse alla prova paragonandone i risultati coi feno-

meni della natura sta la scienza vera. Così avvenne che l' astronomia assai prima delle altre scienze trovasse la vera strada sulla quale avviarsi; così avvenne che essa contasse un'esistenza già secolare, quando le altre scienze accennarono a sorgere e ad affermarsi.

È l'astronomia la scienza nella quale l'accelerazione del progresso di secolo in secolo meglio si accentua e più colpisce. Da essa chiaro risulta che nel mondo del pensiero tutto si collega, si coordina, si intreccia, tutto è effetto e a volta sua diventa causa. Le condizioni economiche e sociali, il sentimento e le credenze religiose, le arti e le industrie esercitano un' azione efficacissima sul pensiero scientifico e sulle scienze, e queste a lor volta, reagendo su quelle, ne determinano un progresso ulteriore ed un ulteriore perfezionamento.

I bisogni dei commerci e della navigazione, le industrie dei metalli, dei vetri, degli orologi eccitarono nell'astronomia progressi rapidissimi, e questi, generando esigenze di precisione più e più grandi, determinarono a loro volta progressi insperati nelle industrie più diverse, nell'arte di navigare, nell'estensione dei commerci; il sentimento religioso sollevò in buona fede ostacoli formidabili all'astronomia copernicana; la riconferma che ognora questa trova nei fatti cosmici più certi e meglio osservati, l' accordo crescente delle opinioni, il consenso unanime nelle proposizioni stabilite da Copernico e dagli astronomi seguaci suoi non poco contribuirono a quella tolleranza religiosa sempre crescente, che è una delle principali caratteristiche della civiltà moderna.

Oggimai siam giunti a questo che tutti i rami nei quali l'attività umana si esplica, le esplorazioni commerciali e geografiche, le industrie meccaniche e le chimiche, le scienze meno affini, le matematiche pure, le ricerche filologiche e storiche riguardanti i più antichi popoli della terra, la fisica, la spettroscopia, l'ottica, la fotografia, l'elettricità prestano efficacissimo concorso all'astronomia; di qui la rapida accelerazione del suo progredire, il campo delle ricerche sue ognora più vasto, la specializzazione delle ricerche stesse più e più necessaria; di qui la difficoltà e la complessità crescente di ogni sintesi che all'odierna evoluzione astronomica si riferisca.

Già nel 1800 l'astronomia era salita a grande altezza, e scienza principe veniva detta per consenso unanime, tanta era la solidità, la grandezza, la semplicità maestosa ed estetica dell'edificio che essa in mezzo all'universale ammirazione aveva saputo innalzare.

Da due e più mila anni era per essa tramontato il periodo favoloso, nel quale tanto più a lungo languirono la fisica, la chimica, la geografia, le scienze naturali, la storia. Sapevano gli eruditi che un giorno lo spirito umano di tutto ignaro, dominato dall'immaginazione aveva sentito il bisogno di tutto animare e personificare, aveva popolata l'aria di genii e di fate, riempito l'universo di esseri sovrannaturali, adorato il vento, il tuono, le tempeste, s'era prostrato avanti agli astri come ad altrettanti dei, avanti al sole come al dio supremo, regolatore delle stagioni, arbitro di tutto quello che sulla terra esiste e vive, ma ogni traccia di meteorolatria e di astrolatria dalla scienza degli astri era scomparsa.

Da più che duecento anni essa aveva saputo infrangere le catene del dot-

trinarismo e sistematismo antico, che per tanti secoli aveva dominato sovrano, che in astronomia aveva alle favole sostituiti sistemi falsi per quanto fondati sopra speculazioni astratte, ardite e geniali, che, abbattuta l'astrolatria, aveva creato l'astrologia non meno insussistente e non meno ingombra di pregiudizii, che pel mondo aveva architettati edifici ingegnosissimi, i quali per altro non avevano nulla a fare colla realtà, nè punto riproducevano il quadro vero dell'universo.

L'astronomia antica, per giungere ad una spiegazione razionale dei fenomeni celesti, aveva infatti pensato ad un principio astratto intorno al quale tutti si potessero accordare, e questo fu che la composizione del mondo dovesse essere ordinata secondo una legge unica e generale, che tutto in essa fosse governato da leggi geometriche, che tutto dovesse spiegarsi con moto circolare ed uniforme, che centro d'ogni moto fosse la terra, per la quale ammise che l'immobilità fosse la più sicura condizione di esistenza e di durabilità. Per tal modo riuscita era ad un dogmatismo astronomico, il quale più che sui fatti cosmici poggiava su principii astratti ammessi *a priori;* ad ingombrare lo spazio di sfere solide, cristalline, destinate a portare le stelle, questo o quell'astro errante; a trasformare il problema dell'universo in un complesso problema geometrico, irto di cerchii, di epicicli, di sfere e che, quanto più cercava di adattarsi ai fatti anche imperfettamente osservati, tanto più si andava complicando.

Sestante antico trasportabile.

Mancava all'astronomia antica la chiave che risolvere doveva il maestoso problema cosmico intorno al quale invano tanto sudò, mancavano ad essa i concetti di forza e di moto fondamentali della scienza meccanica, mancava la legge fisica della gravitazione universale, che toglie al problema dell' universo il carattere geometrico dall'antichità affermato e lo trasforma in un problema meccanico anzi dinamico. Fu Copernico (1473-1543) che primo additò agli astronomi le vie feconde del metodo induttivo; fu Ticone (1546-1601) che con diuturne, sagaci e pel tempo suo molto precise osservazioni diede a Keplero (1571-1630) mezzo di scoprire le formole dei movimenti planetarii; fu Galileo (1564-1642) che, dimostrando per il primo le leggi alle

quali obbediscono cadendo i gravi, apprestò a Newton (1642-1727) le armi gloriose che portar lo dovevano alla scoperta della gravitazione universale.

Si deve sopratutto a questi uomini veramente immortali se l'astronomia cessato aveva nel 1800 di arrestarsi ai puri fenomeni apparenti, se i movimenti celesti cessato avevano di essere per essa un problema geometrico e quasi di prospettiva, se il mondo non era da tempo più ingombro di sfere gigantesche solide e trasparenti, se lo spazio che ci circonda era ritenuto, quale realmente è, interamente sgombro di ostacoli materiali, se in esso gli astri liberamente librantisi avevano acquistata in astronomia tutta quella completa libertà di movimento che hanno in natura, se nello spazio cosmico non rimanevano più conformemente a realtà che corpi in moto, se le traccie dei moti loro, simili a quelle dei nostri proiettili, erano considerate così come realmente sono quali semplici linee ideali, se, come affermato aveva Keplero, si riteneva universalmente che « spheræ solidae nullae sunt; planetae in puro aethere, perinde atque aves in aere, cursus suos conficiunt ».

Altazimut di Ramsden.

A sì mirabili risultati l' astronomia era pervenuta a gradi a gradi nel 1800 in grazia di un lento lavoro secolare, di evoluzioni incessanti, osservando e riosservando, calcolando e ricalcolando, paragonando e riparagonando i risultati dei calcoli a quelli delle osservazioni, perfezionando via via i due grandi rami in cui essa può dividersi, l' astronomia pratica o di osservazione, l'astronomia teorica o matematica.

L'astronomia pratica si proponeva allora quasi esclusivamente osservazioni di posizione dirette a determinare il posto da un astro occupato nello spazio in un dato istante di tempo, ma nel campo suo, che ora direbbesi limitato, aveva raggiunto un grado notevolissimo di precisione. Vi avevano specialmente contribuito la scoperta memorabile del pendolo applicato (1647) come regolatore agli orologi a peso, l'uso dei cannocchiali muniti di micrometro (1625-1667) negli strumenti destinati a individuare una direzione nello spazio e a misurare gli angoli compresi fra due o più direzioni, i progressi fatti verso il 1750 specialmente in Inghilterra nell' arte di lavorare i metalli, di dividere i cerchi graduali, di fabbricare in generale strumenti di precisione.

Nella misura del tempo Tolomeo non riusciva ad evitare errori di dieci minuti primi; le grandi clessidre del medio evo a mala pena evitavano errori minori di cinque minuti primi; le altezze del Sole e delle stelle misurate coll'astrolabio degli antichi non riuscivano a determinare un dato istante di tempo con errore più piccolo di un minuto primo; Evelio, che pur aveva a

disposizione orologi a volante, (1639-1683) a stento riuscì nelle sue osservazioni di eclissi a restringere gli errori riguardanti il tempo fra i venti e i ventiquattro minuti secondi.

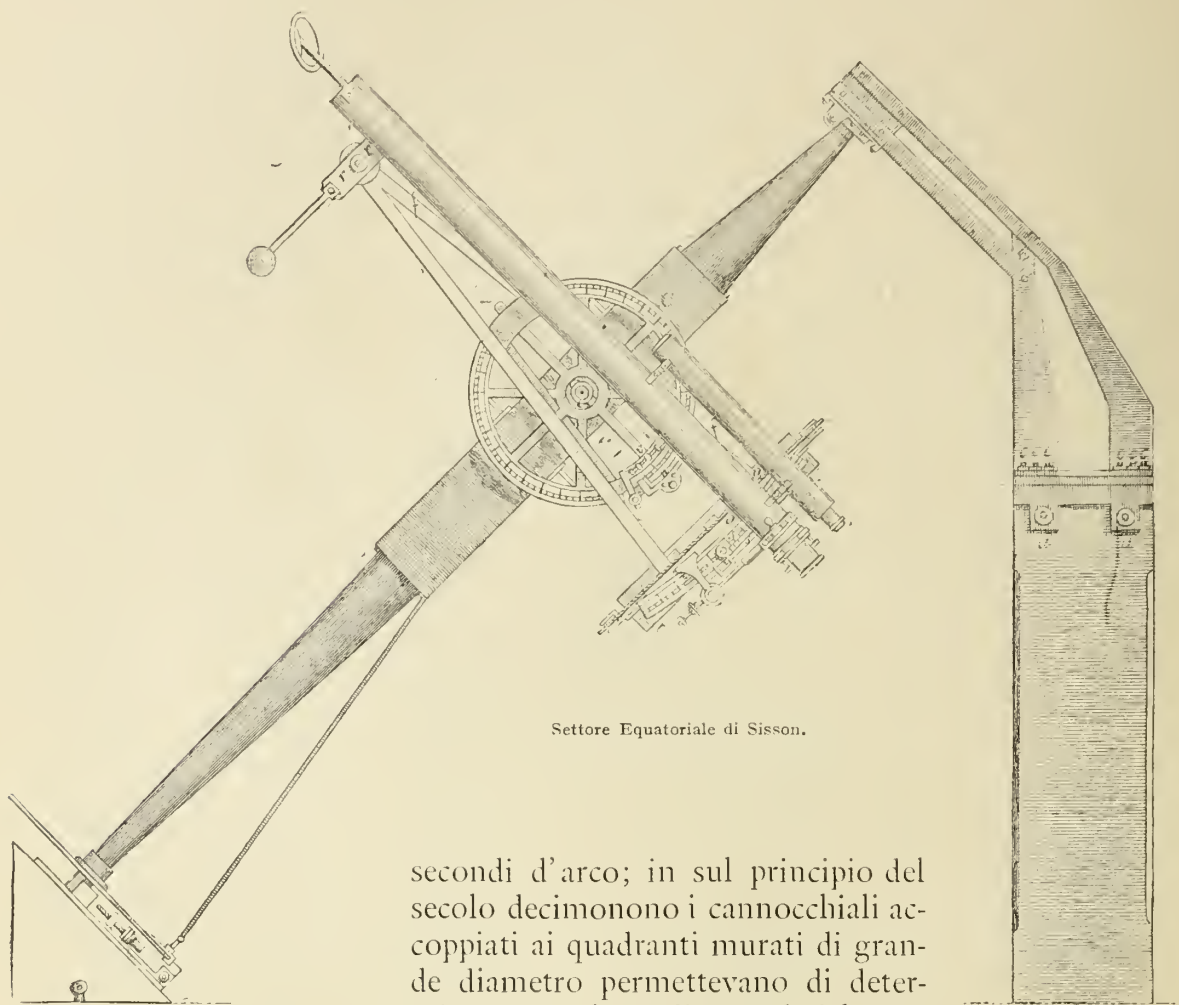
Col pendolo soltanto la scienza riuscì a tenere veramente in pugno il tempo, e a determinare ogni istante fugace di esso con una precisione che prima della scoperta sua sarebbesi ritenuta favolosa. Già in sul principio del secolo decimottavo (1680-1720) gli astronomi, valendosi di orologi a pendolo, e misurando con quadranti oppure con sestanti mobili le altezze degli astri, riuscivano a fissare nel limite di due minuti secondi l'istante assoluto di una osservazione; un secolo più tardi, verso il 1800, tale errore era ridotto a meno di un minuto secondo, grazie sempre all'orologio a pendolo accoppiato con uno strumento dei passaggi, oppure con uno di quegli strumenti universali detti anche altazimut, costrutti con rara perfezione da artefici inglesi.

Antico Strumento dei Passaggi.

Nella misura di un angolo, nel determinare di quanto una direzione devia da altra ben determinata gli arabi commettevano errori di quattro e di cinque minuti primi d'arco, e maggiori erano gli errori inevitabilmente commessi da Ipparco e dagli astronomi di Alessandria. Ticone commetteva ancora errori di un minuto primo d'arco; gli errori di Evelio oscillavano ancora fra i venti e i venticinque minuti secondi d'arco; solo dopo l'applicazione dei cannocchiali muniti di micrometro ai goniometri si riuscì a restringere entro angusti confini l'incertezza delle misure angolari.

Si ritiene in generale che la memorabile scoperta dei cannocchiali (1610) tragga l'importanza sua dalla maggior forza di penetrazione che per essa l' occhio umano acquistò, ma l'importanza sua non è minore, se anche solo voglia tenersi conto del perfezionamento che da essa venne alle osservazioni astronomiche tutte. I cannocchiali, si dice a ragione e sovente, resero alla scienza possibile la conquista dello spazio universo; troppo di rado si aggiunge che è incalcolabile l'aumento di precisione che essi apportarono nelle osservazioni astronomiche, il

perfezionamento che essi per ciò solo indussero in tutti i problemi dell'astronomia.

Verso la metà del secolo scorso i cannocchiali accoppiati agli strumenti equatoriali di costruzione inglese, ai sestanti mobili e agli altri strumenti in uso, già permettevano di determinare una direzione nello spazio, dalla terra ad una delle stelle del firmamento, con un errore di pochissimi minuti

Settore Equatoriale di Sisson.

secondi d'arco; in sul principio del secolo decimonono i cannocchiali accoppiati ai quadranti murati di grande diametro permettevano di determinare ogni linea diretta al cielo con un errore che appena oscillava intorno ad un minuto secondo d'arco, e questi quadranti murali di fabbrica inglese furono anzi, negli ultimi decennii del secolo scorso e nei primi di questo che sta per tramontare, i migliori e più usati strumenti dell' astronomia.

Si deve ai perfezionamenti dell'astronomia pratica durante il secolo decimottavo, e all' esattezza sempre crescente delle osservazioni celesti durante il medesimo, se i fenomeni tutti del cielo, già nel 1800, erano dimostrati conformi nello svolgimento loro alle conseguenze tratte dal sistema copernicano e dalle leggi meccaniche dimostrate, se da queste essi erano anzi spiegati in modo completo ed inatteso, se i movimenti della terra, oggetto non lontano di dubbii, di opposizioni, di dispute non sempre obbiettive e serene, erano

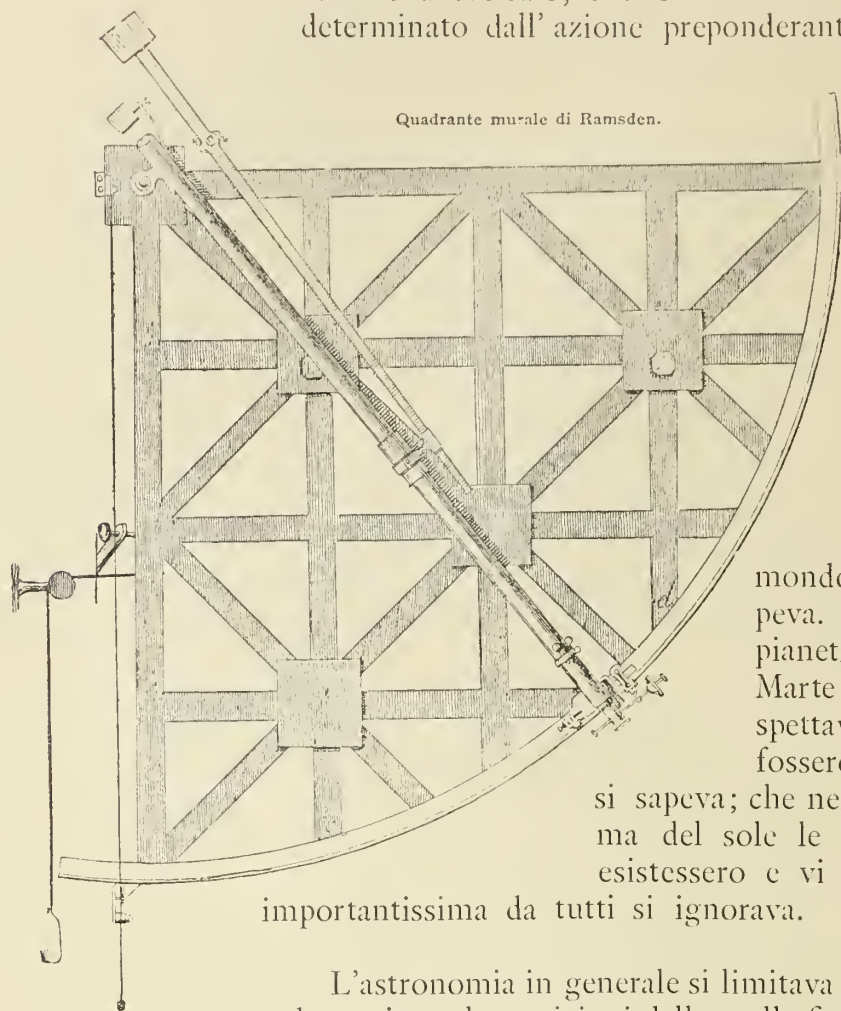
attestati dai fatti così in direzione come in grandezza, se l'aberrazione delle stelle fisse scoperte da Bradley (1728) non lasciava più dubbio alcuno sul moto di traslazione della terra nello spazio, se quest'ardua e secolare questione della rivoluzione della terra attorno al Sole era attestata in modo inoppugnabile e per sempre risolta da un effetto visibile e suscettibile di precisa misura, della rivoluzione stessa.

L'astronomia teorica era appieno confermata da questi risultati dell'osservazione e ne riceveva grande lustro; nessuna scienza sarà mai per gli uomini sorgente di maggiore e più legittimo orgoglio di quello che nel 1800 essa fosse. L'edificio che Newton con genio arditissimo aveva abbozzato in ogni sua parte, era venuto perfezionandosi e completandosi per opera di matematici geniali e sommi, i quali senza interruzione si erano andati succedendo durante tutto il secolo decimottavo; Eulero, D'Alembert, Clairaut, Lagrange, Laplace. I due primi volumi della Meccanica Celeste di Laplace erano appunto usciti nel 1799, e in quest' opera immortale la teoria fisica o gravitazionale del sistema planetario riceveva uno svolgimento pressochè completo. Appena sarebbesi allora pensato che il Sistema del sole potesse esser campo di scoperte non lontane; si capiva, si ammetteva che lo studio del movimento di questo o di quel pianeta lasciava tuttora qualcosa a desiderare, che perfezionamenti ulteriori della teoria di questo e quel corpo del Sistema planetario erano possibili e necessarii, ma che il Sistema stesso preso nel suo insieme potesse da non lontane scoperte essere ampliato, reso più complesso, pur restando un miracolo di ordine e di armonia, pochi avrebbero ammesso e forse nessuno avrebbe detto.

Il sistema del Sole quale era uscito dalle menti e dalle osservazioni degli astronomi d' allora aveva una semplicità inarrivabile ed una idealità quasi geometrica. Nel centro il Sole; attorno, attorno, a distanze sempre maggiori e crescenti, i pianeti antichi Mercurio, Venere, Terra, Marte, Giove, Saturno, il pianeta, recentemente scoperto da Guglielmo Herschel (1781), Urano; attorno alla Terra un satellite, la Luna; attorno a Mercurio, a Venere, a Marte nessun satellite; attorno a Giove quattro satelliti, le stelle medicee scoperte da Galileo (1610); attorno a Saturno un anello mirabile, interamente staccato dal corpo del pianeta, concentrico a questo e al pari di questo librantesi libero e sospeso nello spazio: al di là dell'anello sette satelliti: Titano scoperto da Huygens (1665): Teti, Dione, Rhea, Japeto scoperti da Cassini (1671-1684): Mimas ed Encelado trovati da Herschel (1789); attorno ad Urano due dei quattro satelliti ora noti, Titano ed Oberon scoperti (1787) dallo stesso Herschel.

A questo riducevasi il sistema noto del Sole; si possedevano tavole per mezzo delle quali era possibile calcolare per un istante dato di tempo le posizioni di Mercurio, di Venere, della Terra, della Luna, di Marte, di Giove, dei Satelliti suoi, di Saturno, di Urano, che segnava allora del Sistema solare l' estremo confine; si pubblicavano effemeridi nelle quali le posizioni stesse di anno in anno e per ogni giorno dell'anno erano stampate, e fra esse già erano notissime la *Connaissance des temps* (1679), il *Nautical Almanac* (1769),

il *Berliner Astronomisches Jahrbuch* (1776), le *Effemeridi astronomiche di Milano* (1775).

Sulle comete si avevano i lavori di Halley, la teoria delle perturbazioni cometarie di Lagrange (1780), i lavori di Lexell e di Laplace sulla Cometa del 1770, lavori i quali dimostrato avevano che alle comete non meno che agli altri corpi del Sistema planetario erano applicabili le leggi della gravitazione universale, che il movimento delle comete era determinato dall' azione preponderante del Sole e poteva essere perturbato dall' azione dei pianeti, ma intorno al numero delle comete in generale e delle comete periodiche in particolare, intorno alla probabile origine loro, intorno alla parte che esse rappresentano nella economia del mondo poco o nulla si sapeva. Degli innumerevoli pianetini che esistono fra Marte e Giove non si sospettava neppure; che cosa fossero le stelle cadenti non si sapeva; che nel mondo e nel Sistema del sole le correnti meteoriche esistessero e vi avessero una parte importantissima da tutti si ignorava.

Quadrante murale di Ramsden.

L'astronomia in generale si limitava quasi esclusivamente a determinare le posizioni delle stelle fisse, e a studiare i movimenti degli astri erranti; altre osservazioni che in seguito assunsero grande importanza erano considerate come accessorie affatto; non esisteva quella varietà di metodi e di indagini che il secolo decimono via via seppe inventare; la fisica generale, la chimica non avevano ancora sollevati come oggi problemi astronomici svariatissimi, importanti per sè medesimi e per le applicazioni loro.

Negli osservatorii astronomici erano rare le osservazioni regolari, continue, sistematiche: il solo osservatorio di Greenwich faceva eccezione; esso non solo osservava regolarmente le stelle, il sole, la luna, i pianeti, ma regolarmente e scrupolosamente pubblicava le proprie osservazioni. Nella *Connaissance des temps*, nel *Berliner Jahrbuch*, nelle *Effemeridi di Milano*, in quelle di Vienna

si pubblicavano saltuariamente queste e quelle osservazioni astronomiche, ma pubblicazioni regolari di osservazioni mancavano ancora, un vero e proprio giornale astronomico ancor non usciva.

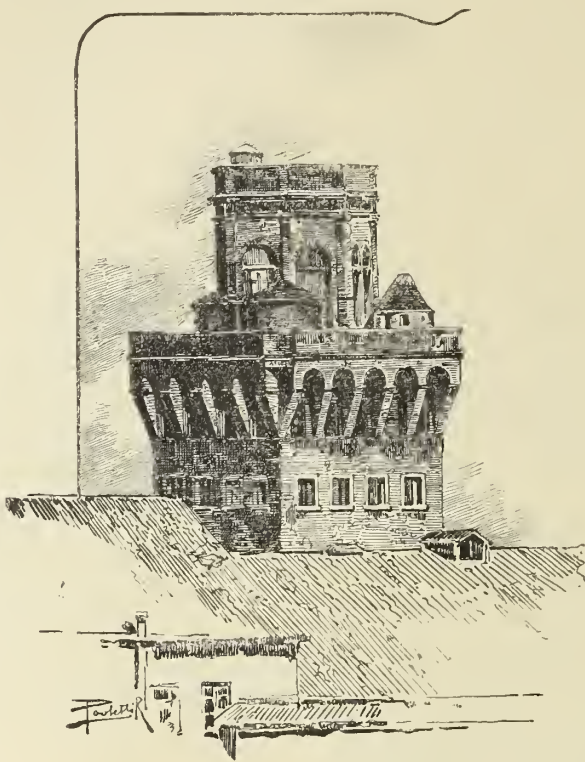
Osservatorii pubblici astronomici si avevano allora solo in Europa, e da una statistica non so quanto completa traggo che ne esistessero 132, dei quali 30 in Francia, 26 in Inghilterra, 20 in Italia, 35 in Austria e in Germania, 6 in Ispagna e nel Portogallo, 8 in Isvizzera ed in Olanda, 7 in Danimarca, nella Svezia e in Russia; nè in Asia, nè in Africa, nè nelle Americhe, nè in

Osservatorio di Greenvich.

Australia pubbliche specole esistevano. Le comunicazioni fra gli astronomi erano rare e difficili, lenta era la diffusione delle cognizioni, scarso il numero degli astronomi di professione; la vera vita astronomica mancava, e con essa ogni traccia di organizzazione dei lavori di indagine e delle ricerche diverse; mancava il movimento astronomico cosmopolita, pel quale ogni progresso non si fa più da un popolo e per un popolo, ma esce dal fascio di tutte le nazioni incivilite.

II.

L'Astronomia in Italia verso il 1800: La scienza italiana nel secolo decimoquinto — Galileo Galilei — Gian-Domenico Cassini e il secolo decimosettimo — Gli osservatorii e gli astronomi italiani nel secolo decimottavo — Rigoglio degli studii astronomici nel 1800.

L'astronomia ha questo di caratteristico che fiorisce solo presso i popoli i quali per coltura, per potenza economica, per ordinamento sociale stanno fra i più inciviliti; essa non solamente costituisce l'avanguardia, la testa di colonna di tutte le scienze, ma per la vastità delle ricerche sue e per il grande numero di cognizioni svariatissime delle quali ha bisogno diventa effetto e sintomo ad un tempo di civiltà. È naturale quindi che essa in ogni età abbia avuto cultori valenti e geniali nell'Italia nostra, terra antichissima di civiltà, e ancor oggi nè stanca, nè arida, nè decadente come alcuni vorrebbero.

Osservatorio di Bologna.

Sarebbe opera di erudizione relativamente facile, sebbene non adatta all' indole del presente lavoro, il dimostrare quanta gran parte, a cominciare da Pitagora e dagli scienziati della Magna Grecia, il genio italiano abbia avuto negli studii e nei progressi astronomici, ma non ha bisogno di dimostrazione il fatto universalmente noto ed ammesso, che in Italia nel secolo decimoquinto studiarono, vissero, insegnarono i grandi iniziatori dell' evoluzione filosofica e scientifica del Risorgimento, evoluzione la quale può dirsi trovasse appunto nell'astronomia il fulcro suo.

Non a torto in quel secolo glorioso l'Italia ebbe riputazione di maestra d'ogni sapere, e venne detta la terra sacra delle scienze. Alla Università sua di Padova studiarono in quel secolo Niccolò di Cusa (Cusano) e Paolo Dal Pozzo Toscanelli, ispiratori l'uno e l'altro del pensiero filosofico e scientifico del proprio tempo, iniziatore il Toscanelli di vere e proprie osservazioni astronomiche, quegli che avviò l'astronomia moderna sulla strada feconda dell'osservare e del riosservare, quegli che cominciò a studiare il cielo nel cielo stesso, e non nei libri degli scolastici.

Appartengono al secolo decimoquinto Francesco Campani che professò a Padova, Giovanni Bianchini che insegnò a Ferrara, Domenico Maria Novara alle cui lezioni assistè in Bologna Nicolò Copernico, Luca Paccioli che ebbe non piccola parte nel rinascimento delle matematiche in Europa. È il decimoquinto il secolo del grande gnomone di Santa Maria del Fiore in Firenze, di Battista Alberti del Toscanelli famigliarissimo, geometra, aritmetico, astronomo, musico, nato si disse per investigare i segreti della natura. È desso il secolo di astronomi, di astrologi, di cosmologi di non comune valore, il secolo nel quale cominciò ad agitarsi ed a maturarsi la questione viva della riforma del Calendario, la quale in Italia trovò la soluzione sua nel secolo decimosesto. Fu il secolo decimoquinto quello che raccolse l' impulso dato al movimento scientifico e agli studî astronomici da Paolo dei Dagomari, e gli diede forza e vigore, quello dal quale partì quel moto energico e fecondo che attraverso al secolo decimosesto, così ricco di ingegni, fu nel decimosettimo causa e ragione efficiente di Galileo Galilei e della celebre accademia del Cimento, composta di uomini insigni sì nella fisica sperimentale che nelle osservazioni astronomiche. Non a caso il secolo decimosettimo vide nascere in Italia gli uomini del Cimento, chè questa accademia e Galileo vogliono piuttosto essere considerati come il prodotto spontaneo della sapiente e forte evoluzione scientifica italiana nei due secoli precedenti.

Osservatorio di Milano nel 1765.

Con Galileo sorse in Italia l'astronomia che oggi dicesi fisica, e che più specialmente si occupa dalle apparenze superficiali degli astri, ne determina le dimensioni, ne studia la forma e la costituzione. Fu Galileo il primo (1610) a far oggetto di misure dirette e speciali le montagne lunari, a constatare il

Osservatorio di Padova.

moto di librazione della Luna, a scoprire i satelliti di Giove, a segnalare le fasi di Venere, a vedere e riconoscere i cambiamenti d'aspetto dell' anello di Saturno, a osservare e descrivere (1611) le macchie solari, a determinare con rigore la rotazione del Sole intorno a sè medesimo, nè i germi da lui gettati rimasero infecondi. Francesco Fontana (1602-1656) scopriva a Napoli le macchie di Venere, la rotazione di Marte, le fascie di Giove; e Gian Domenico Cassini (1625-1712), non appena la fine della guerra dei trent' anni diede all' Europa stabilità e riposo, reintegrava fra noi il culto delle osservazioni astronomiche e saliva in grande fama osservando la Cometa del 1652, ricostruendo il gnomone e la meridiana di Ignazio Danti a S. Petronio, scoprendo e misurando la durata della rotazione di Giove, determinando con maggior esattezza quella della rotazione di Marte (1665).

Non bastò la partenza di così insigne astronomo e maestro, chiamato a dirigere l'Osservatorio di Parigi, a scemare fra noi il gusto degli studî astronomici e a svigorirne l'intensità, chè anzi il culto loro crebbe e di molto si svolse durante tutto il secolo decimottavo, eccitato qui, come dappertutto in Europa, dalle speculazioni sublimi e pur sempre memorabili di Newton, morto vecchio d'anni appunto nel 1727.

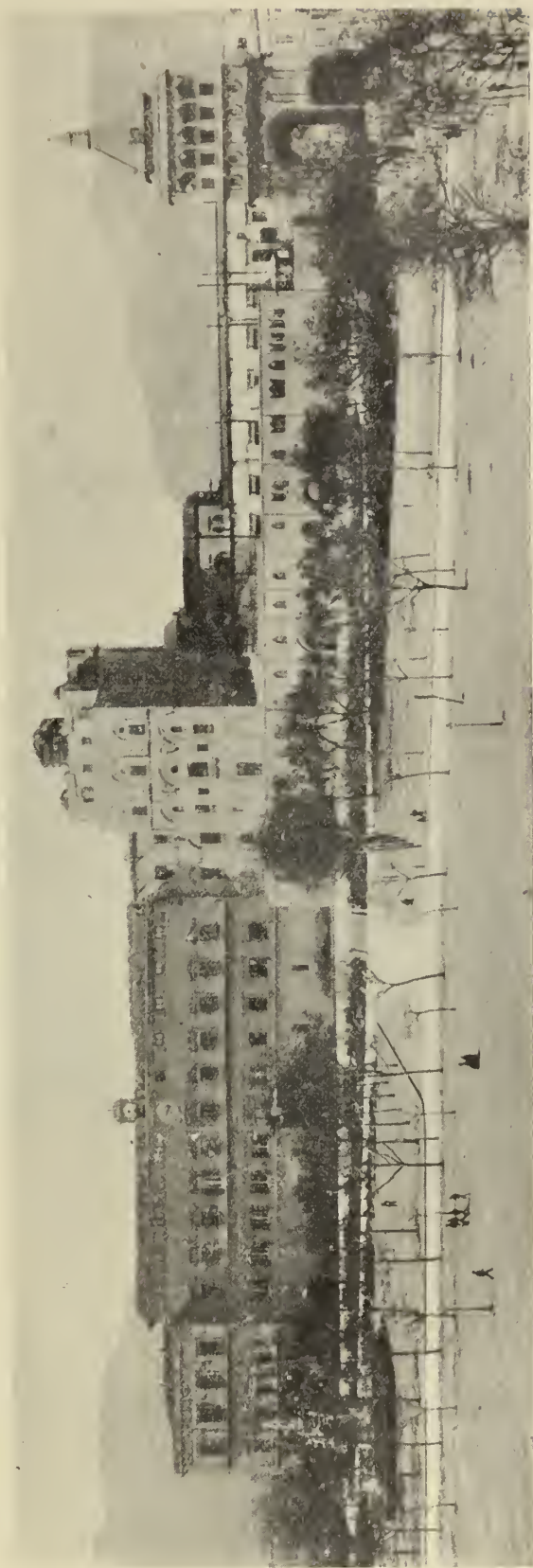
A Bologna infatti, città madre degli studi, già nel 1712 per l'opera ge-

nerosa e illuminata del conte Marsigli sorgeva quell'osservatorio astronomico, che per tutto il secolo decimottavo diede prova di molta attività, e che per merito specialmente degli astronomi Eustacchio Manfredi (1723-1739) e Eustacchio Zanotti (1739-1782) salì a nobilissima fama.

A Milano Paolo Frisi (1728-1784) illustrava il suo nome con ricerche stimatissime di astronomia matematica, e verso il 1760 per opera dei padri Gesuiti sorgeva nel palazzo di Brera un osservatorio di grande avvenire, e che tosto per opera dell' astronomo padre Luigi Lagrange (1762-1777), per opera del celebre padre Giuseppe Ruggero Boscovich (1764-1772; 1785-1787) astronomo, matematico, geodeta, ingegnere, salì ad alta fama.

A Padova, sopra domanda di Giuseppe Toaldo, il Senato di Venezia fondava nel 1761 sulla torre famosa di Ezzelino un osservatorio astronomico, che Toaldo stesso, il quale lo diresse fino al 1797, presto rese meritamente celebre.

A Firenze Leonardo Ximenes (1717-1786) coi suoi lavori sul celebre gnomone di S. Maria del Fiore, e colle sue ricerche su Paolo Dal Pozzo Toscanelli rievocava le glorie imperiture dello studio fiorentino, e ispirava forse Leopoldo d' Austria a decretare nel 1774 l' erezione d' un osservatorio astronomico presso il Museo imperiale di Fisica e di Storia Naturale.

A Roma e al vecchio Collegio Romano i padri Gesuiti

Osservatorio di Palermo.

Borgondio (1679-1741), Asclepi (1706-1776), Le Maire e Boscovich (1751-1753), il canonico Francesco Bianchini (1662-1729), il padre domenicano Audiffredi (1714-1794), l'abate Luigi De-Caesaris (1777-1784), l'abate Eusebio Veiga (1785-1798), l'abate Giuseppe Calandrelli (1749-1827) tenevano durante tutto il secolo decimottavo alta e viva una tradizione astronomica oramai antica.

A Torino il padre Giacomo Battista Beccaria, colla misura del suo celebre arco di meridiano, 1759-1774, colle osservazioni astronomiche fatte da un'alta torre della sua privata abitazione, svegliava il gusto delle ricerche di astronomia pratica e faceva sentire la necessità per la coltura generale di una pubblica specola.

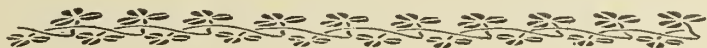
A Napoli Ferdinando IV, riorganizzatore di quella Università, fondava nel 1767 l'osservatorio di San Gaudioso e lo affidava alla direzione di Giuseppe Casella (1798-1808) allievo di Toaldo; a Palermo l'astronomo Giuseppe Piazzi (1780-1820) aveva l'onore di trasformare (1786) le vecchie torri di quel palazzo reale in osservatorio astronomico, e di portare questo colle sue osservazioni e colle scoperte sue a grande celebrità.

Osservatorio di Pisa.

Così avvenne che nell'anno 1800 non per virtù di principi, di governi, o di genî improvvisamente apparsi, ma piuttosto quale conseguenza di un lavoro tenace, intenso, secolare, gli studî astronomici fossero fra noi fiorentissimi, e che in essi l'Italia nostra, pur non avendo sulle altre nazioni europee il primato, non fosse seconda a nessuna.

Le nostre specole pubbliche erano numerose; erano tutte lanciate è vero su alte e vecchie torri, ma questo era di tutte le specole del tempo. In alcune di esse, come a Padova e a Milano, si avevano strumenti fra i più perfetti dell'epoca; quadranti e sestanti mobili, settori equatoriali, settori zenitali, quadranti murali di grande diametro, ai quali si facevano osservazioni altrettanto numerose e precise che a Greenwich, a Parigi e nelle specole più celebrate; a Palermo l'astronomo Piazzi osservava ad uno degli strumenti alt-azimutali più celebri del tempo suo; Dollond, Sisson, Canivet, Adams, Ramsden e i più rinomati artefici fabbricato avevano gli strumenti delle specole nostre, non meno che quelli di pressochè tutte le esistenti.

Le effemeridi astronomiche di Bologna contavano oramai quasi un secolo; quelle di Milano datavano solo dal 1775 ma già stavano fra le pubblicazioni astronomiche più importanti del tempo. A Padova dirigeva l'Osservatorio Vincenzo Chiminello, illustre discepolo e successore di Toaldo. A Milano fin dal 1777 la direzione dell'osservatorio era passata nelle mani dei tre amici e colleghi Angelo De Cesaris, Francesco Reggio, Barnaba Oriani; essi, tuttora in età vigorosa, uniti dai nobilissimi intenti loro, con lavoro indefesso, con ingegno vario circondavano di gloriosa aureola la specola loro affidata, non meno che i propri nomi; al fianco loro e da Oriani chiamato, Antonio Cagnoli, già illustre pei lavori eseguiti sotto l'ispirazione di Lalande a Parigi (1776-1784), per le ricerche fatte a Verona (1788-1797) nella propria specola privata, stava (1798-1802) dando l'ultima mano al suo catalogo di 500 stelle. A Torino insegnava astronomia nell'università, e dirigeva l'osservatorio edificato verso il 1790 nel palazzo dell' Accademia delle scienze, il dottissimo abate Tommaso Valperga di Caluso, maestro ad un tempo di greco, di lingue orientali, di matematiche pure e di applicate ai problemi astronomici in ispecie. A Bologna dirigeva l'osservatorio Petronio Matteucci, discepolo e successore di Eustachio Zanotti, ed a lui, morto nel dicembre dell' anno 1800 succedere dovevano con rapida vicenda l'abate G. Saladini, Giov. Batt. Guglielmini, Lodovico Ciccolini. A Firenze, sotto il granduca Ferdinando successore di Leopoldo, veniva decretato un ampliamento dell'osservatorio, alla direzione del quale chiamavasi più tardi Domenico De Vecchi. A Pisa professava astronomia all' università e faceva riputate osservazioni alla specola accademica l'astronomo, ben noto per le importanti sue pubblicazioni, Francesco Slop di Cadenberg. A Roma l'astronomo G. Calandrelli, aiutato dai valorosi assistenti A. Conti, G. Ricchebach copriva la cattedra di astronomia, e illustrava con osservazioni, con calcoli e con pregevoli pubblicazioni l' osservatorio del Collegio Romano da lui fondato. Due italiani di genio infine tenevano alto il nome nostro nel campo dell'astronomia matematica; Barnaba Oriani già nominato e che il Monti chiamò degli astri indagator sovrano; Giuseppe Luigi Lagrange (Lagrangia) il quale dalla cattedra di matematica nella scuola di artiglieria di Torino (1755-1766) passava a Berlino prima (1767-1787), a Parigi poi (1788-1813), dappertutto ammirato per la fecondità e per la originalità del suo genio analitico.

Questo stato di cose così lusinghiero per l'astronomia italiana non durò a lungo, nè si protrasse oltre il 1830. Alle specole italiane mancarono in seguito, non per colpa degli uomini, ma piuttosto per le condizioni generali politiche ed economiche della penisola, i mezzi necessari per tener dietro ai progressi continui dell'astronomia istrumentale, per sostituire via via agli antichi nuovi e perfezionati e più grandi strumenti. Esse cominciarono a decadere, e solo dopo proclamato il nuovo regno unito risorsero a vita nuova.

III.

Prime pubblicazioni periodiche mensili astronomiche del secolo XIX: Primo giornale astronomico internazionale — Potenza crescente del giornalismo scientifico — L'Istituto Smitsoniano e la corrispondenza telegrafica fra tutte le specole della terra — Associazioni astronomiche nazionali e internazionali.

Esiste nei lavori degli astronomi di tutta la terra un accordo oggi quasi perfetto, il quale è frutto di un lento e sapiente lavoro di organizzazione progressiva durato, può dirsi, gran parte del secolo nostro.

Nell' anno 1800 il barone Francesco di Zach, direttore dell' osservatorio astronomico di Gotha dal 1787 al 1806, indi grande maggiordomo del duca Ernesto di Sassonia-Gotha, uomo di scienza e di mondo, di ingegno e di vasta coltura, cominciò a pubblicare a Gotha un giornale mensile astronomico scritto in lingua tedesca, che durò fino al 1813 e che forma 28 grossi volumi: Monatliche Correspondenz zur Beförderung der Erd-und Himmels Kunde.

Cristiano Schumacher.

Nel 1816 il barone Bernardo di Lindenau, astronomo egli pure a Gotha dal 1804 al 1817, indi uomo di stato, prese a stampare a Tubinga un nuovo giornale astronomico mensile (Zeitschrift für Astronomie und verwandte Wissenchaften), che, distratto da altre cure, pubblicò però solo fino al 1818, e che abbraccia sei soli volumi.

Nel 1818 il barone di Zach, dimorante allora gran parte dell' anno in Italia al seguito del duca di Sassonia-Gotha, riprese la pubblicazione della sua corrispondenza astronomica, la stampò in lingua francese a Genova, e la protrasse fino al 1826, portandola al suo quindicesimo volume: Correspondance astronomique, géographique, hydrographique et statitisque.

Nel 1821 Cristiano Schumacher, direttore dell' osservatorio astronomico di Altona, fondò una pubblicazione di nuovo genere, destinata a notizie brevi intorno alle ricerche e alle osservazioni astronomiche di ogni giorno. Dichiarò che i lavori scritti in tedesco, in inglese, in francese, in latino, in italiano sarebbero stampati nella loro lingua originale, e che la pubblicazione sarebbe apparsa a periodi, ogni volta che il materiale per essa raccolto fosse sufficiente. Le Astronomische Nachrichten, tale fu il titolo della nuova pubbli-

cazione, divennero ben presto settimanali, assunsero tosto il carattere di un vero e proprio giornale scientifico, e divennero il primo giornale astronomico internazionale.

Le pubblicazioni mensili di Zach e di Lindenau, le notizie astronomiche di Schumacher meritano nella storia dell' astronomia una menzione speciale. Esse, unite alle pubblicazioni astronomiche annue, la Connaissance des temps, il Nautical Almanac, il Berliner Astronomisches Jahrbuch, le Effemeridi astronomiche di Milano, agevolarono la diffusione di giuste cognizioni; in esse si elaborarono i progressi successivamente apportati nei primi decennî del secolo nostro alle teorie, agli strumenti, ai calcoli astronomici; con esse si iniziò una viva ed efficace corrispondenza astronomica, la quale fu la ragione prima di quel fascio armonico, che gli astronomi della terra andarono formando via via e stringendo sempre più.

Barnaba Oriani.

Sarebbero a tale scopo state insufficienti le pubblicazioni accademiche, per natura loro tarde e quasi pigre, gli annali che le differenti specole, a datare dal 1814, cominciarono, le une dopo le altre, a far uscire. Occorreva invece un giornalismo serio e vivace ad un tempo, rapido ad apprendere, rapidissimo a diffondere ogni notizia che fosse od apparisse nuova, istruttivo e suggestivo per natura sua. Ad un tal giornalismo, oramai diffuso e potente in Europa non meno che nelle Americhe, diedero il primo impulso Zach, Lindenau e Schumacher, diedero il primo esempio le Astronomische Nachrichten, le quali, fatto rarissimo, ancor oggi durano, e ancor oggi sono il primo e più importante giornale astronomico, quello che ha maggior carattere di internazionalità.

A meglio eccitare, organizzare ed unificare il lavoro degli astronomi, oltrechè i giornali, giovarono efficacemente l'introduzione dei telegrafi, la rapida diffusione loro, e le associazioni astronomiche.

Venne un giorno in cui anche il giornale parve pigro all'inquieta curiosità degli astronomi. Nel 1873 l'Istituto Smitsoniano d'America prese per propria iniziativa a trasmettere notizie astronomiche dal nuovo all'antico mondo attraverso all'Atlantico. Esso le riceveva dagli astronomi americani, le comunicava agli osservatorii di Parigi, di Berlino, di Greenwich, di Vienna e di Pulkova, i quali poi le diffondevano più o meno rapidamente, qualche volta

col telegrafo, più spesso con apposite circolari, ai rimanenti osservatorii europei. Questa disposizione di cose non era senza inconvenienti, e gli astronomi tentarono nel 1881 di stabilire un servizio telegrafico di notizie astronomiche fra tutti gli osservatorii del mondo, e di ideare un cifrario semplice ed opportuno che accoppiasse celerità ed economia.

All' atto pratico l' organizzazione di un servizio telegrafico astronomico mondiale mostrò difficoltà gravi e superabili solo con lunghe trattative e con non men lungo tempo. Ciò decise gli astronomi a concretare intanto un servizio limitato all'Europa, del quale le spese fossero distribuite fra gli astronomi europei riuniti all'uopo in libera associazione, e del quale il centro fosse l'osservatorio di Kiel nell' Holstein, ora incaricato della pubblicazione delle Astronomische Nachrichten.

In pochi mesi più di cinquanta osservatorii europei, oggi la più gran parte dei 170 circa esistenti, si iscrissero all'associazione. Essi trasmettono telegraficamente a Kiel le notizie che credono importanti, e Kiel le diffonde a tutte le parti del mondo. Per diminuire le spese di questa trasmissione sarà per l'avvenire adottato il cifrario pubblicato nel 1881 dal giornale Science Obserwer; intanto fu provvisoriamente messo in uso un cifrario più semplice, sebbene meno conciso, pubblicato nel numero 2481 delle Astronomische Nachrichten.

Ruggero Giuseppe Boscovich.

Così un' associazione degli osservatorii europei e l' Istituto Smitsoniano degli Stati Uniti dell'America del Nord fanno, insieme riuniti, la più gran parte di quel servizio telegrafico, che col tempo si spera di organizzare fra tutti gli osservatorii del mondo, e per fare che anche nell' America del nord il centro di diffusione delle notizie astronomiche fosse nelle mani di astronomi di professione, l'Istituto Smitsoniano cedette intanto il compito, finora da lui disimpegnato, all' osservatorio del Collegio Harvard in Cambridge, Massachusetts.

Le associazioni astronomiche, più che alla diffusione rapida delle notizie, giovarono ad eccitare e a tener vivo il gusto degli studii astronomici, a procurare il danaro necessario a spedizioni astronomiche lontane, all'acquisto di nuovi e più forti e più perfetti strumenti d'osservazione, all'ampliamento di specole antiche, alla fondazione di nuove. Dapprincipio esse ebbero carattere esclusivamente nazionale; più tardi il già esistente fascio astronomico diede origine ad associazioni internazionali.

Fra le prime merita menzione speciale la Royal Astronomical Society

fondata a Londra nel 1820, la quale molto contruibuì allo svolgersi degli studii astronomici in Inghilterra, e forse eccitò le associazioni analoghe che sorsero in seguito sì in Europa che in America; la Società degli spettroscopisti italiani fondata dal padre Angelo Secchi e dal professor Pietro Tacchini nell'ottobre del 1871.

Fra le seconde sono notevolissime l'associazione internazionale sorta a Lipsia nel 1865 col titolo di Astronomische Gesellschaft, il Comitato internazionale per la formazione della carta fotografica del cielo formatosi a Parigi nel 1887.

È un merito dell'astronomia di avere, forse prima fra le scienze, saputo trar profitto del moderno spirito di associazione, e di avere da più che un quarto di secolo introdotto l'uso di studiare e di risolvere le questioni più gravi e più complesse per mezzo di associazioni, di comitati e di conferenze internazionali. Essa pose per tal modo in atto un metodo attissimo a far sì che alla risoluzione dei problemi più difficili concorrano gli uomini meglio competenti di tutta la terra, senza considerazione di confini e doganali e politici. Essa per tal modo, maestra e precorritrice di civiltà, come sempre fu e pur è, modestamente e quasi non avvertita prepara e spiana la via per la quale, con grande vantaggio dell'umanità, in un avvenire che non può essere lontano, saranno studiate e risolte molte fra le più ardue questioni di indole sociale, economica, politica.

IV.

Gli osservatorii astronomici: Numero degli osservatorii esistenti — Loro distribuzione — Criterii diversi successivamente seguiti nell'impianto e nella costruzione degli osservatorii — Strumenti collocati su alti edificii — Strumenti posti a poca altezza sul suolo — Osservatorio di Napoli — Osservatorio di Pulkova — Influenza dell'atmosfera terrestre sulle osservazioni astronomiche — Necessità di un' atmosfera trasparente e calma — Clima degli alti monti — Osservatorio Lick — Osservatorio etneo — Osservatorii sul Mont-Gros e sul Mont-Mounïer — Osservatorio sul Monte Bianco — Osservatorii diversi di montagna — Nuovo punto di vista da cui si considera la costruzione di un osservatorio — Osservatorio centrale — Osservatorii succursali — Osservatorio del Collegio Harvard — Osservatorio *di Arequipa.*

Gli osservatorii astronomici erano in sul principio del secolo nostro, già lo dissi, poco più di 130, e tutti in Europa; ancora verso il 1835 le Americhe, pur avendo abili astronomi e scrutatori del cielo, mancavano di un vero e proprio osservatorio astronomico.

Oggi gli osservatorii esistenti superano i 300, e di essi 177 sorgono in Europa, fra i quali 23 in Italia, 100 nelle due Americhe, dei quali 71 negli Stati Uniti dell'America del nord, 12 in Asia, 6 in Australia, 4 in Africa, 4 nel Giappone e nelle isole oceaniche.

Oggi sommano a 22 le associazioni astronomiche nazionali o internazionali esistenti; sono sette i comitati astronomici sorti per istudiare questo e quel problema speciale; sono 19 le riviste e i giornali astronomici, fra i quali le Memorie della Società degli spettroscopisti italiani che senza interruzione si pubblicano dal 1872; sono 77 i costruttori di strumenti per l'astronomia, 367 gli astronomi liberi e dilettanti, 700 gli astronomi di professione.

Si tratta di numeri solo relativamente veri, che di decennio in decennio

vanno continuamente modificandosi, ma che accennano ad uno sviluppo maraviglioso degli studii astronomici, tanto più se si pensa che esso avvenne in meno di settant'anni. Non v'è più oramai regione della terra la quale sia priva di specole; ve ne sono nell'emisfero boreale e nell'australe, nei grandi continenti, nelle isole maggiori, nelle minori. Pochi a dir vero sono gli astronomi di professione; a 1144 soltanto sale il numero degli scienziati che o come costruttori di strumenti, o per libera elezione, o per impiego assunto dedicano all'astronomia la massima parte del tempo loro. Sono pochi, ma costituiscono una falange potente, ricca di ingegni, disciplinata dall'unità degli intenti, dagli alti ideali ai quali si ispira. Non passa ora del giorno senza che qua e là sulla terra si faccia qualche osservazione astronomica, e il gran libro del cielo venga sfogliato da mano sapiente, assidua, che non conosce stanchezza.

Le scienze che, come l'astronomia, poggiano sull'osservazione e sullo spi-

Osservatorio di Napoli.

rito critico non si arrestano mai, e, pur a intervalli qualche volta sostando, sono in evoluzione continua e progressiva. Ogni giorno del secolo nostro, si può dire, vide gli studii astronomici in generale guadagnare di intensità e di ampiezza; ogni giorno si sono andati introducendo nella meccanica istrumentale e nei sistemi di osservazione perfezionamenti mirabili, dei quali sarebbe troppo lunga l'esposizione completa e minuta; continuamente si andarono modificando e perfezionando i criterii ai quali deve ispirarsi il disegno e la costruzione di un osservatorio, che servir debba alle esigenze scientifiche del momento.

In principio del secolo nostro le specole sorgevano tutte nel centro di grandi e popolose città, e, ad avere libero l'orizzonte, si slanciavano in alto, utilizzando in generale vecchie torri esistenti, qualche volta costruendone di nuove. Si dava allora poco peso a quello che costituisce la base di uno strumento astronomico, e si riteneva che la più gran parte del lavoro di un osservatorio meglio si facesse in mezzo ad un grande centro di vita intellettuale e sociale, dove attivo è lo scambio delle idee, dove numerose e facil-

Osservatorio di Pulkova.

mente accessibili sono le biblioteche, dove vivo è il commercio librario, dove l'ispirazione e gli eccitamenti al lavoro non mancano, dove abili meccanici si vanno continuamente formando, dove facili diventano gli acquisti e le riparazioni degli strumenti.

Le esigenze crescenti dell'astronomia teorica, la sempre maggior precisione necessaria nei dati delle osservazioni, le ricerche dell'astronomo milanese A. Cesaris sul movimento oscillatorio e periodico delle fabbriche persuasero però che era un errore grave collocare gli osservatorii su alte torri. Gli edificii elevati per quanto solidi sono soggetti a movimenti continui, lenti, prodotti dalle variazioni di temperatura e di umidità del suolo, e gli strumenti astronomici sovr'essi collocati, avendo assi e circoli i quali debbono coincidere con linee e con circoli determinati dalla sfera celeste, e trovandosi in istato di oscillazione continua sulla base loro, non possono mai adempire esattamente alle condizioni indispensabili della loro posizione. Non basta la perfezione degli organi che servono alle esplorazioni celesti; all'esattezza delle osservazioni non meno contribuisce il giusto collocamento degli organi stessi.

Queste idee ben presto si fecero strada fra gli astronomi del secolo nostro. Essi non tardarono molto a persuadersi che la perfezione dei cannocchiali, l'esecuzione inappuntabile delle parti tutte di uno strumento, l'esattezza somma alla quale Traughton e Reichenbach nei primi quindici anni del secolo portato avevano colla invenzione di macchine apposite la graduazione dei cerchi non bastavano agli scopi dell'astronomia pratica, e che di un nuovo elemento bisognava tener conto in quella lotta perpetua coll'infinitamente grande e coll'infinitamente piccolo, nella quale sta l'essenza della vita scientifica dell'astronomo. Si tratta in ultima analisi di questo, che i milioni e i bilioni di chilometri devono spesso in astronomia venir calcolati partendo da misure di

decimi e di centesimi di minuto secondo, e che le oscillazioni di un' alta torre sono appunto tali da influire notevolmente su queste minime frazioni che pur bisogna determinare. Non basta quindi ad una specola avere un orizzonte libero da ogni parte, strumenti delicati e perfetti; è necessario ancora che gli strumenti stessi non siano collocati a troppa distanza dal livello del suolo, che il pavimento delle stanze d'osservazione e le basi degli strumenti sieno alti sul terreno quattro o cinque metri al più.

A queste idee già nel 1812 si ispirava un decreto regio firmato da G. Murat; che ordinava fosse abbandonata la torre del convento di San Gaudioso in Napoli, e fosse invece eretto dalle fondamenta un nuovo osservatorio a Capodimonte sulla collina detta di Miratodos. Il nuovo osservatorio, alla cui costruzione sopraintese per la parte scientifica il celebre astronomo Giuseppe Piazzi, per la parte architettonica il non meno celebre ingegnere Stefano Gasse, già nel 1819 era ultimato, ed è una gloria della scienza e dell' arte italiana l'aver saputo ideare e costrurre fra noi prima che altrove un edificio solido, con forme estetiche, informato a concetti nuovi, duraturi e in perfetta corrispondenza col progresso scientifico.

Solo più tardi nel 1835 l' imperatore Nicolò di Russia, memore della protezione che all' astronomia nei tempi addietro aveva concesso Pietro il Grande, ordinò la costruzione di un osservatorio in ogni sua parte possibilmente perfetto, degno della grandezza dell'impero e della magnificenza della sua capitale. Mezzi illimitati furono a tal fine posti a disposizione dell'astronomo Guglielmo Struve, già illustre per i lavori fatti in Dorpat; ordine fu dato ad una commissione accademica di coadiuvarlo nell'impresa, e l'architetto Alessandro Brüloff fu incaricato di preparare e dirigere la costruzione di un edificio conveniente in ogni sua parte allo scopo cui era destinato. Le spese ascesero a seicento mila rubli, due milioni e mezzo circa di lire; in sei anni tutto fu terminato, e nel 1840 poterono incominciarsi le osservazioni astronomiche.

L'osservatorio centrale Nicolò, così detto dal nome del suo fondatore, è costrutto sulla collina di Pulkova a dieci miglia da Pietroburgo, ed a tre miglia dalla residenza imperiale di Tsarsk-oie-Sielo. La sommità del colle non si eleva che di circa 50 metri sul terreno circostante, e questa altezza, punto incomoda, è sufficiente per offrire un libero orizzonte da tutte le parti, senza che sia necessario collocare gli strumenti a troppa distanza dal livello del suolo.

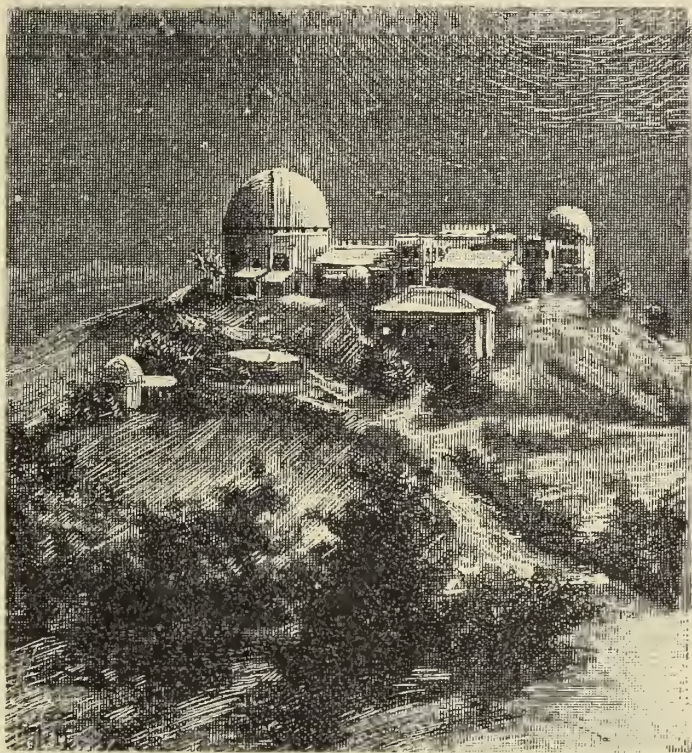
I nostri disegni dànno un'idea generale di questo osservatorio grandioso e magnifico, che porta l'impronta del genio di un astronomo senza eguali, della volontà di un autocrata illuminato e degno capo di un popolo giovane, destinato a raccogliere un giorno l'eredità di popoli decrepiti. Il suo lato maggiore si estende da oriente ad occidente, il minore da settentrione a mezzodì; ha nel mezzo una grande cupola, ai lati due cupole minori; le due ali basse, ad est e ad ovest della cupola maggiore, sono destinate a strumenti meridiani; verso mezzodì, dalla parte opposta all'entrata centrale, sorge la camera destinata allo strumento nel primo verticale colla visuale libera tanto verso levante quanto verso ponente.

Intorno al grande osservatorio esistono sette altri edifizii minori, ciascuno dei quali può essere riguardato come un piccolo osservatorio a parte. In alcuni stanno collocati strumenti destinati a ricerche speciali; due contengono strumenti minori a cui gli allievi astronomi possono esercitarsi; altri servono all'istruzione degli ufficiali topografi e geografi dello Stato Maggiore Russo. A poca distanza stanno le abitazioni degli astronomi e degli altri impiegati dell'osservatorio; essi colle famiglie loro formano una specie di colonia scientifica, nella quale l'astronomia è lo scopo vero ed unico della vita, e nella quale l'unità degli intenti e degli ideali genera una singolare armonia degli animi, una convivenza simpatica che non lascia sentire la noia dell'isolamento.

Tale è l'osservatorio di Pulkova che per molti aspetti potrebbe ritenersi come modello di una specola moderna, se l'inquieto spirito critico degli astronomi presto trovato non avesse un nuovo punto di vista, dal quale, non meno che dai precedenti, ogni stazione astronomica deve essere considerata.

Osservatorio di Lick.

Noi non possiamo fare astrazione dall'atmosfera che ci circonda, nella quale viviamo immersi come in un oceano, e attraverso alla quale vediamo gli astri posti al di fuori di essa ad una distanza sterminata. Galileo, Keplero, e dopo loro una lunga schiera di matematici, di geometri, di ottici studiarono e si sforzarono di eliminare i più piccoli difetti delle lenti e dei cannocchiali; Guglielmo Hershel primo si preoccupò della gran parte che l'occhio dell'astronomo e la posizione sua hanno nelle osservazioni fatte col migliore dei cannocchiali; E. L. F. Helmholtz dell'occhio umano studiò le imperfezioni non meno che i modi di eliminarle, ma, dimostrati e corretti, per quanto è possibile, i difetti dell'occhio e dei cannocchiali, i due organi della visione astronomica, resta a studiare il mezzo attraverso al quale la visione medesima succede, e che su di essa non può non avere influenza.

La luce si propaga in linea retta, ma i raggi lucidi che partono dai pianeti e dalle stelle, entrando nell'atmosfera terrestre, deviano dalla direzione prima seguita nello spazio cosmico, si rifrangono, e arrivano all'occhio come se partissero da un punto diverso dello spazio, come se l'astro da cui emanano spostato si fosse. Nè questo spostamento apparente, e la rifrazione della

luce nell'atmosfera nostra avvengono in modo semplice e costante, che anzi sono assai complessi e mutano da istante ad istante, diversi riescendo in una atmosfera calma o in una agitata, in un'atmosfera in cui gli strati sovrapposti sono in equilibrio stabile di densità, o in un'atmosfera in cui l'equilibrio stesso è perturbato e di continuo rotto da correnti tumultuose di aria a differenti temperature.

Non basta. L'atmosfera terrestre non è perfettamente diafana, ma trat-

La casa degl' Inglesi con l' Osservatorio Bellini a Catania.

tiene ed assorbe una parte della luce che la attraversa. Diverso è lo splendore di un astro se diversa è la profondità o potenza dello strato atmosferico che la luce sua deve attraversare, e diverso ne è pure il colore. L'assorbimento atmosferico ha un potere sensibilissimo di selezione, e la luce azzurra viene dall'aria assorbita più che non la rossa, e i corpi attraverso all'atmosfera appaiono più rossi di quello che realmente siano.

Già Newton (1717) osservato aveva che l'aria atmosferica è tremula ed in agitazione continua, e che appunto perciò le stelle scintillano e le ombre proiettate dagli alti edifici terrestri sono mutabili e irrequiete. Già Alessandro Humboldt (1799) notato aveva che fra i tropici, dove la temperatura dell'aria è molto

regolarmente distribuita, le immagini delle stelle sono tranquille e punto tremule, che nei deserti aridi e privi di pioggia del Perù le stelle cessano di scintillare appena si alzano di dieci o dodici gradi sull'orizzonte. Già Newton detto aveva che il fenomeno della visione in generale dovrebbe meglio succedere nell'aria pura delle montagne, e già nel 1821 Giovanni Herschel dall'osservatorio suo vicino a Londra era passato in Francia a Passy in cerca di migliori condizioni di atmosfera, ma fu dopo il 1850 che gli astronomi presero a studiare in modo sistematico l'influenza che sulla potenzialità di un cannocchiale grande hanno le condizioni dell'atmosfera terrestre.

A tale scopo l'astronomo americano G. P. Bond passò (1851) direttamente dalla Norvegia, ove aveva osservata una eclissi totale di sole, alle montagne della Svizzera; l'astronomo G. Lassell trasportò (1852 e 1859) i suoi potenti telescopi da Liverpool a Malta; l'astronomo inglese Piazzi-Smyth salì (1856) sul picco di Teneriffa e vi fece due stazioni astronomiche all'altezza rispettivamente di 2651 e di 3262 metri; l'Associazione americana per il progresso delle scienze riconobbe (1868) l'opportunità e l'importanza di un osservatorio anche temporaneo in uno dei punti più elevati sulla ferrovia del Pacifico; alle numerose spedizioni astronomiche organizzate per le osservazioni sotto climi diversissimi dei passaggi di Venere sul sole e delle eclissi solari venne specialmente raccomandato l'esame dell'importante problema.

Fu così dimostrato che a utilizzare tutta la potenza ottica di un cannocchiale occorre trasparenza e calma di atmosfera, che questa trasparenza e questa calma devono essere tanto maggiori quanto più largo è l'obbiettivo, più lunga la distanza focale; che se la trasparenza è utile, la calma è necessaria tanto più per le osservazioni fotografiche e le spettroscopiche. Fu dimostrato che ad altezze superiori ai tremila metri le stelle appaiono più splendide che al livello del mare, e che nelle alte stazioni gli effetti perturbatori delle nubi, delle polveri, delle nebbie sono meno sensibili che al piano. Fu dimostrato che sugli altipiani meglio che sugli alti picchi isolati le stelle e la Via lattea brillano di luce viva e tranquilla su un cielo interamente scuro; brillano di luce viva perchè l'aria vi è più trasparente, di luce tranquilla e non scintillano perchè l'aria vi è più calma.

Gli astronomi si persuasero per tal modo e presero a sostenere che per collocare un osservatorio nelle condizioni migliori e più opportune conveniva, ad onta dei disagi inevitabili, salire sugli alti monti in cerca di luoghi adatti. Non tutte le montagne sono stazioni astronomiche opportune; in pochissime anzi i necessari requisiti di serenità, di trasparenza, di calma dell'atmosfera coesistono, ma fra le montagne più che al piano è facile trovare il così detto clima astronomico.

Quando nel 1875 il Signor Giacomo Lick, un Creso cittadino dello Stato di California, decise di spendere poco meno di quattro milioni di lire (3627750) nella costruzione di una specola munita dei migliori e più opportuni strumenti, fra essi di un equatoriale con cannocchiale che fosse il più grande del mondo, gli astronomi americani Simone Newcomb e Edoardo Holden, già dal 1868 interpellati in proposito, decisero, in seguito ai viaggi numerosi eseguiti, alle osservazioni astronomiche fatte temporaneamente qua e là, di eri-

gerlo sul monte Hamilton in California, una sommità facilmente accessibile e distante circa 21 chilometri da San José nella contea di Santa Clara.

Non v'era strada che da San José conducesse al monte; acqua sul monte non ve n'era, e solo esistevano due sorgenti a 1310 metri di distanza e a metri 91 di profondità; la sommità del monte, alta 1297 metri sul livello del mare, era aguzza, aspra, di roccia dura, nè offriva area pianeggiante su cui fabbricare. Non erano difficoltà da far indietreggiare la tenacia di ricchi americani. Una strada bella, larga, carrozzabile fu tosto aperta a partire da San José; il monte fu mozzato fino ad ottenere la necessaria area di livello, e quaranta mila tonnellate di roccia furono a tale uopo esportate; le sorgenti

Osservatorio Bischoffscheim a Nizza.

furono riunite all' osservatorio e alle abitazioni degli astronomi, collocate 15 metri sotto al livello della specola, per mezzo di una buona strada; l'acqua vi fu portata per mezzo di macchine sollevatrici e di condotta apposita.

Nel 1888 l'osservatorio era compiuto in ogni sua parte, ma già nel 1881 alcuni degli strumenti erano ultimati ed a posto, e le osservazioni astronomiche potevano parzialmente cominciare. Tosto gli astronomi furono persuasi che clima più adatto per una specola difficilmente si sarebbe potuto scegliere. Il cielo vi è senza nubi gran parte dell'anno, l'aria vi è asciutta, trasparente, tranquilla, e tutte le ore della notte, cosa rarissima, sono ugualmente buone per osservazioni astronomiche, con immagini degli astri nitide e ben definite. Scoperte memorabili non tardarono a coronare l' attività degli astronomi là chiamati, Holden già nominato, Schaeberle, Keeler, Barnard, Campbell, Hassey,

Perrine, e l'osservatorio Lick sul monte Hamilton, così fu esso battezzato, salì in grande riputazione. Stelle debolissime vi furono viste per la prima volta ed osservate; le lune di Marte, difficilissime a vedersi altrove, vi furono fra gli astri di facile osservazione; due piccoli e deboli frammenti della cometa di Brooks del 1889 e da essa staccati vi poterono essere rintracciati ed osservati; un quinto satellite di Giove vi fu scoperto; le fasi che i quattro satelliti già noti presentano nelle eclissi loro vi furono regolarmente osservate; numerose fotografie e sotto ogni aspetto mirabili del sole, della luna, della via lattea, delle comete vi furono ottenute; difficilissime osservazioni spettroscopiche vi riescirono.

Successo così splendido diede ovunque causa vinta agli osservatori di montagna.

In Europa già nel 1876 l'astronomo italiano Pietro Tacchini, precorrendo Newcomb ed Holden, aveva proposto fra noi l'erezione di un osservatorio sull'Etna a tremila metri sul livello del mare; solo più tardi però, nel 1881, con tenacia singolare di proposito riusciva, mercè il concorso di amministrazioni locali e del governo, nel proprio intento, ed oggi l'osservatorio etneo, diventato stazione succursale estiva dell'osservatorio astrofisico di Catania, da non pochi anni funziona regolarmente sotto la direzione dell'astronomo Annibale Riccò.

Grande cupola galleggiante dell' Osservatorio di Nizza.

Sul monte Grosso vicino a Nizza, grazie alla liberalità del signor Bischoffscheim, ricco banchiere, deputato al parlamento nazionale francese, per opera di un astronomo insigne J. Perrotin, di un architetto celebre Garnier, di un ingegnere meccanico non meno famoso Eiffel, sorgeva nel 1882 a 336 m. sul livello del mare un osservatorio grandioso, emulo di quello di Pulkova, con fabbricati distinti per ogni strumento, e, passati pochi anni, l'astronomo Perrotin, sentito il bisogno di spingersi per alcune osservazioni speciali a maggior altezza, otteneva dal moderno mecenate suo, di erigere sul monte Mounier a 2741 metri di altezza una stazione succursale, con abitazioni per un astronomo ed un assistente, con edifici appositi per istrumenti destinati ad osservazioni astronomiche e meteorologiche.

Nel 1890 Janssen, celebre direttore dell'osservatorio astrofisico di Meudon presso Parigi, lanciava una sottoscrizione allo scopo di raccogliere i denari

necessari ad erigere un osservatorio stabile sul monte Bianco a 4810 metri sul livello del mare, osservatorio destinato a meglio approfondire alcune questioni di fisica solare. Attraverso a molte e gravi difficoltà egli riusciva nell'intento suo, e non avendo trovato fondo roccioso su cui poggiare l'ideato edificio, la sommità dell' alto monte essendo costituita da un potentissimo ghiacciaio, lo posava sopra neve compressa.

Nell'India l'astronomo C. Michie Smith innalzava nel 1895 sui colli Palani, a 2347 metri di altezza un osservatorio astrofisico, che vanta un clima privilegiato per trasparenza e calma di atmosfera, per insolita frequenza di giornate serene.

Osservatorio Janssen sul Monte Bianco.

Nelle Americhe a Echo-Mountain (California), nelle vicinanze di Denver (Colorado), a Tacubaya (Messico) sorgono da parecchi anni importanti osservatorî alle altezze rispettive di 1067, di 1646, di 2286 metri. Nel centro del grande altipiano dello stato di Arizona, a Flagstaff, sulla linea della ferrovia dall' Atlantico al Pacifico, l'astronomo Percival Lowell erigeva nel 1894 a 2225 metri di altezza un osservatorio destinato specialmente allo studio fisico dei pianeti, e nel 1881 il dottor Langley saliva sul monte Whitney (California meridionale) all' altezza di 4541 metri, di 269 metri soltanto più bassa che il monte Bianco, per farvi osservazioni di fisica solare e terrestre.

Le maggiori montagne delle Americhe furono da astronomi di grande esperienza corse e ricorse in cerca di opportune stazioni astronomiche. Le alte Ande del Perù e dell' equatore furono esaminate raggiungendo altezze di 6262 metri (Chimborazo) e di metri 5978 (Cotopaxi); le montagne Rocciose degli stati di Utah, di Wyoming, del Colorado furono diligentemente esplorate; la regione attorno al picco di Pike fu attraversata, passando da 1829 a 4267 m. di altezza. Le ricerche non diedero però risultati pari all'aspettazione.

Il clima astronomico non è fra le montagne così frequente come pensato si sarebbe. Non sempre il paesaggio intorno ad un picco o ad un altipiano è abbastanza uniforme ed omogeneo; boschi anche lontani bastano a creare correnti atmosferiche perturbatrici; in un punto manca per frequenti nebbie la necessaria trasparenza di atmosfera; in altro per troppo poche ore di ogni

giorno le condizioni dell'atmosfera sono favorevoli alle osservazioni. Non è possibile a priori dare un giudizio sicuro su una determinata plaga dal punto di vista astronomico, ma solo dopo lunghe notti passate osservando e riosservando. Nè le altissime montagne come il monte Bianco, il Chimborazo, il Cotopaxi sono senza inconvenienti. A parte le difficoltà dell'accesso, le fatiche necessarie per raggiungerne le vette, la quasi impossibilità di un lungo soggiorno sovr' esse, vi sono questioni fisiologiche le quali consigliano un prudente riserbo. Non tutti si accordano con de Saussure, ma molti con lui affermano che alle altezze loro, pur fatta astrazione dal male di montagna a cui coll'allenamento e col soggiorno prolungato si può ovviare, l'energia degli osservatori e la resistenza al lavoro vengono meno e notevolmente diminuiscono.

Armatura dell'Osservatorio Janssen, sulla vetta del Monte Bianco.

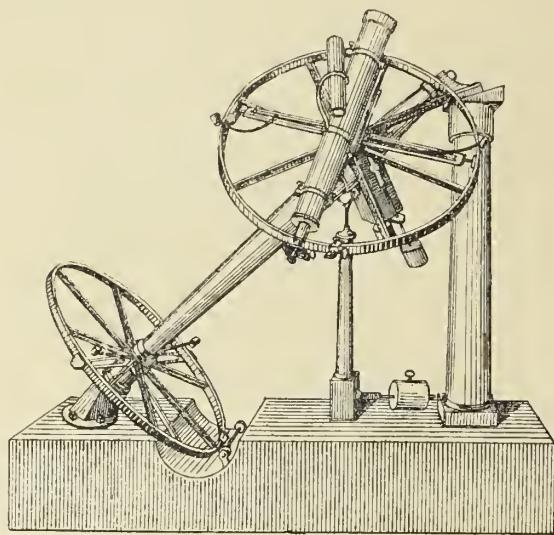
L' esperienza di ogni giorno fatta senza preconcetti, su scala vastissima, in plaghe diverse e per latitudine, e per altezza e per dintorni finisce così per portare a questa conclusione, oramai dai più accettata, che più pratico fra tutti sia quell' osservatorio astronomico il quale sorge a mediocre altezza, non troppo lungi da università e da centri popolosi, e dal quale si staccano stazioni speciali o temporanee o stabili poste in plaghe, che l'esperienza dimostrò opportune per la risoluzione di uno od altro problema.

Sotto questo punto di vista merita di essere fra tutti ricordato l'osservatorio del Collegio Harvard in Cambridge (S. U.), il quale in quest'ultimo quarto di secolo non fu certo secondo a nessun osservatorio del mondo per energia di propositi, per novità e audacia di iniziative. Lo dirige il celebre astronomo E. C. Pickering; appartengono ad esso gli astronomi W. A. Rogers, A. Searle, W. H. Pickering, 19 assistenti, 16 calcolatrici. A studiare alcune questioni speciali di astronomia fisica, per le quali occorrevano serenità, trasparenza, calma atmosferica eccezionali, ricorse Pickering ad un osservatorio succursale nel Perù, ad Arequipa, a 2457 metri sul livello del mare.

V.

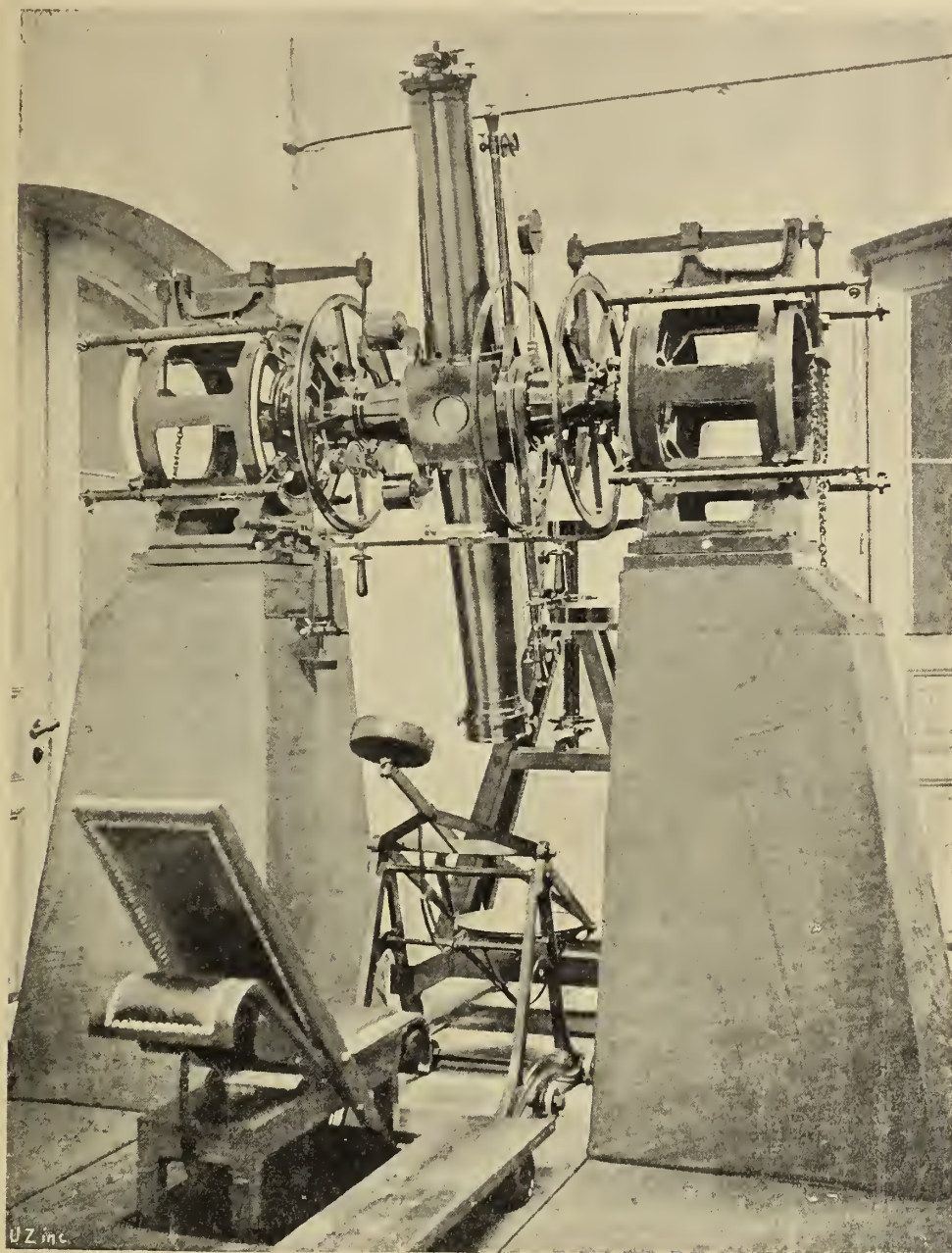
Le specole italiane: Osservatorio di Capodimonte a Napoli — Osservatorii di Sicilia, Palermo, Catania, Etna — Osservatorii di Roma, Collegio Romano, Campidoglio, Gianicolo, Vaticano — Osservatorii di Firenze, Museo, Arcetri, Ximeniano — Osservatorio di Bologna — Osservatorio di Modena — Micrometro oculare di Amici — Micrometro obbiettivo di Dollond — Eliometro di Fraunhofer — Osservatorio di Torino — Osservatorio di Brera in Milano — Osservatorio di Padova — Osservatorii Dembowski di S. Giorgio a Cremano e di Cassano-Magnago — Osservatorii di Genova, di Moncalieri, di Parma, di Teramo, di Venezia — Considerazioni generali sugli osservatorii d'Italia e su quelli d'Inghilterra e delle Americhe.

Già dissi dell'astronomia e delle specole in Italia nel 1800. Continuarono l'una e le altre a fiorire fin dopo il 1830; rimasero stazionarie, ciò che in scienza vuol dire indietreggiare, fino al 1859; ripresero vigore e vita dopo il 1860.

La specola di Napoli è la prima che in Italia siasi dalle fondamenta costrutta per iscopi astronomici, ed è singolarmente propria ad osservazioni di precisione conformi alle esigenze dell'astronomia moderna. Reichenbach fu il costruttore dei principali suoi primi strumenti, i quali per consiglio di Giuseppe Piazzi (1817) e del barone di Zach furono un piccolo equatoriale, uno strumento dei passaggi, un circolo meridiano, e due circoli ripetitori più piccoli ma costrutti in modo analogo al circolo di Ramsden, che Piazzi già aveva reso celebre a Palermo, a la cui compagine ispirava agli astronomi di quel tempo grande fiducia.

Piccolo equatoriale di Reichenbach.

Quando nel 1819, per consiglio di Oriani e di Piazzi, fu chiamato da Milano a Napoli, quale direttore del nuovo osservatorio, Carlo Brioschi, questi, lasciati agli astronomi Ernesto Capocci, Leopoldo Del Re, Antonio Nobile, Niccolò Fergola gli altri strumenti, prese a usare egli solo i due circoli di Reichenbach, e vi fece fino al 1833, anno di morte sua, osservazioni rimaste celebri, illustrate in questi ultimi anni dalle ricerche degli astronomi Emmanuele Fergola, Arminio Nobile, Filippo Angelitti. Dal 1833 al 1849 diresse l'osservatorio di Napoli E. Capocci; dal 1849 al 1862 lo diresse L. Del Re; dal 1861, al 1864 di nuovo E. Capocci; nel 1864 ne prese la direzione Annibale De Gasparis e la tenne fino al 1892; lo dirige ora Emmanuele Fergola.

Con A. De-Gasparis e con E. Fergola la specola risalì a quella fama a cui C. Brioschi e i collaboratori suoi già portata l'avevano; essi seppero conservarle il carattere di specola destinata all'astronomia di precisione, e corredarla di nuovi strumenti, se non di gran portata, certo di squisito lavoro; per opera loro verso il 1875 fu collocato nella sala meridiana di levante un

mirabile circolo meridiano di Repsold, di costruzione moderna, con cannocchiale di cm. 16 d'apertura e m. 2 di distanza focale; un cannocchiale di Fraunhofer di cm. 17 d'apertura e di m. 3 di distanza focale fu montato

Strumento meridiano Repsold.

equatoriamente, e posto verso il 1887 in una torre costrutta appositamente a settentrione dell'osservatorio.

L'osservatorio di Palermo fu costrutto e portato a grande fama dal suo primo direttore Giuseppe Piazzi. Egli non vi potè però, come era suo desi-

derio ardente, finire i suoi giorni, e nel 1817, chiamato a Napoli, dovette assumersi l'alta carica di direttore generale degli osservatorii del Regno delle due Sicilie, carica che tenne fino al 1826 anno di sua morte. Successori suoi furono Niccolò Cacciatore dal 1817 al 1841, Gaetano Cacciatore dal 1842 al 1848, Domenico Ragona dal 1849 al 1860, di nuovo Gaetano Cacciatore dal 1860 al 1889, Annibale Riccò dal 1889 fino alla fine del 1890, Temistocle Zona dal 1891 al 1898, Filippo Angelitti dal 1898 in poi.

G. Piazzi collocato aveva l' osservatorio suo sulla vecchia torre del Palazzo Reale, torre rettangolare, di costruzione araba e di grande solidità, la più alta di Palermo, con ampia terrazza, dalla quale l' occhio spazia in un vasto orizzonte quasi completamente libero, e munito l'aveva di strumenti al tempo suo fra i più esatti e costrutti tutti in Inghilterra: un piccolo sestante di Hadley: due telescopi, uno dei quali uscito dalle mani di Guglielmo Herschel: uno strumento dei passaggi con cannocchiale di mm. 76 d'apertura e di m. 1,52 di distanza focale: un circolo ripetitore di Ramsden divenuto nelle mani sue fra i più celebri del tempo.

Strumento equatoriale di nuova costruzione.

Osservatorio e strumenti passarono un brutto quarto d'ora durante la rivoluzione del 1820, e a stento furono salvati dall' energia di N. Cacciatore, che seppe difenderli con pericolo della vita. « Nella depredazione e nei fatti di sangue che avvennero nei giorni 17, 18 e 19 di luglio, così scriveva Piazzi a Oriani, a stento si sono salvati gli strumenti; fu spogliato il mio quarto, la libreria posta sossopra, e gettata per terra, e lacerate le carte, che rinchiuse aveva in cassette di latta ». Per fortuna il danno non fu così grave come a prima giunta apparve: una parte dei manoscritti di Piazzi, fra essi il suo importante catalogo stellare, erano nelle mani di Oriani, nè la dispersione delle carte fu intera, sicchè molte osservazioni in esse contenute poterono ancora essere da N. Cacciatore riunite e pubblicate. Danni gravi però ne derivarono all'osservatorio che, perduto il favore del governo, solo dopo lunghi anni potè ottenere per opera di Domenico Ragona nuovi e più perfetti strumenti.

Nel 1850 infatti il Ragona fu dal governo suo autorizzato ad ordinare a Pistor-Martins in Berlino un circolo meridiano con cannocchiale di cm. 13 d'apertura e m. 2 di distanza focale, e a Merz in Monaco un equatoriale munito di cannocchiale, a quel tempo fra i più potenti, con cm. 24 d'apertura e m. 4,42 di distanza focale. Arrivò il primo a Palermo nel 1857, e Ragona

stesso ne sorvegliò il collocamento che fu terminato verso la fine del 1859; arrivò il secondo più tardi, nè le osservazioni poterono ad esso cominciare prima del 1865, quando già da parecchi anni Ragona aveva abbandonato Palermo. Questi due strumenti, ai quali nel 1870 si aggiunse uno spettroscopio a visione diretta e a cinque prismi costrutto da Tauber di Lipsia, apportarono fortuna alla specola palermitana. Sotto la direzione di Gaetano Cacciatore, e per opera degli astronomi suoi collaboratori, di Pietro Tacchini in ispecie chiamatovi nel 1863 da Modena, la specola rinacque a nuova vita e venne mostrandosi degna delle tradizioni lasciate ad essa in retaggio dal celebre Piazzi.

Il professore P. Tacchini passò nel 1879 da Palermo a Roma, ma, persuaso dell'eccellenza del clima di Sicilia per le osservazioni astronomiche, tanto fece e destreggiar seppe, che riuscì a dotare in pochi anni l'isola di due nuovi osservatorî, uno a Catania, l'altro sull'Etna. Le due specole, delle quali l'etnea va considerata come stazione succursale e temporanea della catanese, entrarono in azione sullo scorcio del 1890, e furono ambedue affidate alla direzione del professore A. Riccò coadiuvato dagli astronomi A. Mascari, G. Saija, E. Tringali.

Osservatorio astronomico e metereologico di Catania.

Sull'Etna v'è una montatura parallatica costrutta dal meccanico Cavignato di Padova per un eccellente cannocchiale di Merz con cm. 34 d'apertura e m. 5,57 di distanza focale; a Catania una montatura di identica costruzione, destinata ad un cannocchiale di uguali dimensioni, venne posta sotto una cupola emisferica di analogo disegno; lo stesso obbiettivo di Merz passa dall'uno all'altro strumento a seconda delle stagioni e dei programmi di ricerca adottati.

A Catania un altro impianto speciale fu fatto per un equatoriale del meccanico Cooke di York, disegnato su tipo inglese moderno, con cannocchiale di m. 2,23 di distanza focale e di cm. 15 d'apertura; altro padiglione vi fu appositamente costruito per un equatoriale con montatura e lungo cannocchiale collimatore usciti dall'officina filotecnica dell'ingegnere A. Salmoiraghi di Milano, con cannocchiale fotografico di Steinheil di Monaco avente un obbiettivo del diametro di mm. 328 e della lunghezza focale di m. 3,46.

Con questi strumenti l'osservatorio etneo si propone ricerche di astrofisica, il catanese di astrofisica e di fotografia celeste; a Catania si fecero inoltre impianti per osservazioni di meteorologia e di sismologia, e questi impianti diversi destinati a strumenti o astronomici, o meteorologici, o sismici sono l'uno dall'altro staccati e posti in locali diversi dell'ex convento dei Cappuccini, o in padiglioni appositamente eretti nel giardino annesso.

Roma, città privilegiata per clima, per trasparenza di atmosfera, per limpidità di cielo, non mancò certo mai di astronomi, ma non ebbe che tardi una vera specola astronomica. Gli studiosi e maestri suoi di astronomia da Clavio (1572) a Audiffredi (1777) usarono scegliere qualche luogo elevato per farvi con strumenti proprî o forniti da ricchi mecenati osservazioni celesti anche preziose; osservazioni astronomiche furono in tempi diversi così eseguite al Collegio Romano, al Vaticano, alla Trinità dei Monti, alla Minerva, al Gesù, senza che però in nessuno di detti luoghi esistesse un osservatorio astronomico propriamente detto.

Risale al secolo decimosesto la Torre dei Venti che Gregorio XIII fece erigere a scopo di osservazioni celesti in Vaticano, là dove il cortile del Belvedere è diviso da quello della Pigna. La storica torre ergesi a 73 m. sul livello del mare; in essa il celebre frate domenicano e cosmografo Ignazio Danti (1537-1586) costrusse una meridiana, della quale ancor oggi conservasi traccia; in essa monsignor Filippo Luigi Gilii, uomo d'ingegno vasto e versatile, astronomo, meteorologo, studioso di scienze naturali riescì nel 1789 a collocare strumenti destinati in parte a ricerche astronomiche e precipuamente a studi di fisica terrestre e di meteorologia, ma i lunghi abbandoni in cui la monumentale torre fu lasciata fra il 1644 e il 1789, fra il 1821 e il 1889 fecero sì che essa solo in tempi a noi vicinissimi potè divenire il nucleo di una vera e propria specola Vaticana.

Nel 1775 Francesco Caetani duca di Sermoneta, con iniziativa che nel secolo nostro doveva trovare imitatori numerosi, specialmente in Inghilterra e in America, prese a costruire nel palazzo alle Botteghe Oscure un vero e proprio osservatorio, il primo che sorgesse in Roma. Già nel 1777 la specola privata Caetani era ultimata, e consisteva « in una loggia con stanza annessa superiore a tutti li tetti ed a livello de' Giardini della villa Medici ». Sotto la direzione dell'Audiffredi, e successivamente per opera dell'abate Luigi De Caesaris, dell'abate Eusebio Veiga, del frate Carmelitano Atanasio Cavalli essa salì presto in qualche fama, ma non fiorì a lungo, e già, prima che il secolo decimottavo finisse, era in decadenza.

Fu nel 1785 che il cardinale Zelada, memore di quanto Benedetto XIV già ordinato aveva al Borgondio, prese ad adoperarsi perchè un vero osservatorio astronomico venisse stabilito nel Collegio Romano, e fu per iniziativa sua, e col concorso di Pio VI, che nel 1787 l'astronomo abate Giuseppe Calandrelli cominciò ad erigere sull'angolo orientale della facciata del Collegio quella torre quadrata, che esser doveva il nucleo della specola detta del Collegio Romano, e che per lunghi anni doveva anzi da sola costituire l'intero osservatorio.

Dapprincipio G. Calandrelli non ebbe nella nuova specola a propria disposizione che pochi e piccoli strumenti acquistati in gran parte dallo stesso cardinale Zelada, ma nel 1804 Pio VII concesse a lui nuovi mezzi e strumenti diversi, fra i quali un cannocchiale dei passaggi di m. 1,17 di distanza focale costrutto a Monaco da Reichenbach, e da G. Calandrelli collocato in apposita sala meridiana fabbricata a levante della torre nucleare dell' osservatorio.

Con questi strumenti G. Calandrelli, coadiuvato dagli astronomi abate Andrea Conti e canonico Giacomo Riechebach, seppe dare alla specola, di cui era il fondatore e della quale fu il primo direttore, vita notevolmente rigogliosa, che per opera sua e dei colleghi durò però soltanto fino al 1824. In quell'anno i tre astronomi dovettero abbandonare il Collegio Romano e con esso l'astronomia di osservazione, riducendosi il Calandrelli con parte degli strumenti di proprietà sua al Convento di Sant'Apollinare, dove presto morì nel 1827, il Conti e il Ricchebach a vita privata, nella quale durarono fino al 1840 il primo, fino al 1841 il secondo.

Il Collegio Romano e l'Osservatorio divennero in quell'anno stesso (1824) proprietà dei padri gesuiti, e a direttore della specola fu tosto chiamato il

Osservatorio del Collegio Romano.

padre Stefano Dumouchel di Montfort-Lamaury, al quale nel 1838 succedette il padre Francesco De Vico di Macerata.

Dumouchel già nel 1825 riuscì a dotare la specola a lui affidata di alcuni strumenti, fra i quali uno strumento equatoriale di Cauchoix, che venne collocato alla sommità della gran torre. De Vico ottenne per essa nel 1841 un circolo meridiano di Ertel con cannocchiale di mm. 89 di apertura, di m. 1,25 di lunghezza focale, che egli si affrettò a collocare nella stanza meridiana fino a lui occupata dallo strumento dei passaggi di Reichenbach.

De Vico fu astronomo operosissimo, e sotto la di lui direzione per opera anche dei collaboratori suoi i padri gesuiti N. Della Rovere, B. Gambara, C. Sestini, l'osservatorio del Collegio Romano salì in molta e meritata rinomanza.

Egli pure dovette però nel 1848 abbandonare coi colleghi l'osservatorio e Roma, prendendo la via dell'esiglio per Londra, dove nell'anno stesso morì

Non tardarono molto i padri gesuiti a rientrare nell' abbandonato osservatorio, e allora ne assunse la direzione (1849) il padre Angelo Secchi, divenuto ben presto astronomo fra i più celebri. Tosto egli seppe ottenere dal padre Paolo Rosa De-Conti il cospicuo dono di un potente equatoriale di Merz con cannocchiale di mm. 244 di apertura e m. 4,328 di lunghezza focale; non meno presto riuscì egli coi mezzi somministratigli dall'ordine e da ricchi colleghi, coll'aiuto potente di Pio IX, a trasportare l'osservatorio sul braccio orientale della chiesa di S. Ignazio, attuando così un antico progetto dell'illustre Bo-

Circolo Meridiano dell' Osservatorio del Campidoglio.

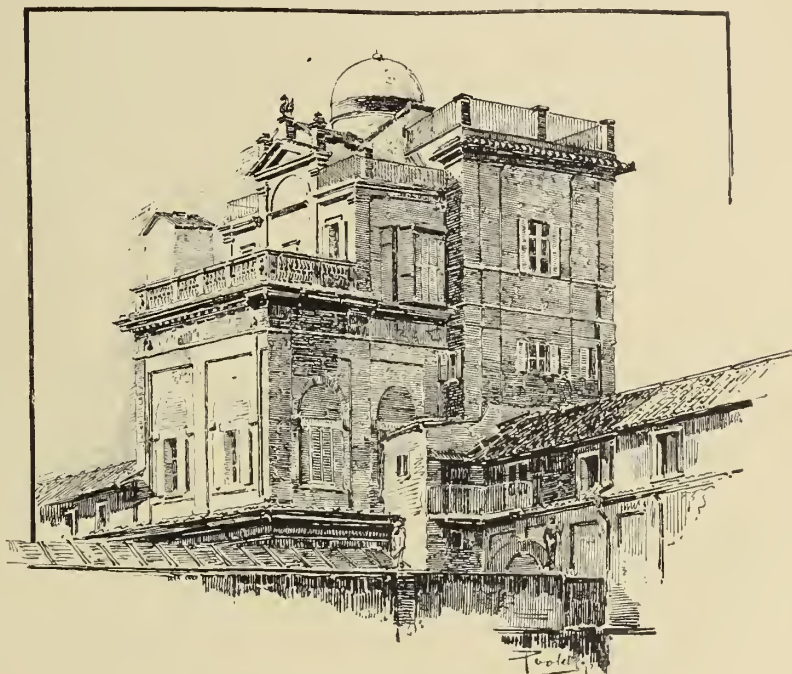
scovich, e costruendo le sale di studio sulle mura laterali, quelle degli strumenti sui robusti pilastri della cupola della Chiesa.

La nuova sede dell'osservatorio già nell'ottobre del 1853 era terminata, e in essa quasi contemporaneamente furono stabilmente a posto i vecchi e i nuovi strumenti, ai quali si aggiunse tosto un secondo e piccolo equatoriale formato utilizzando il vecchio cannocchiale meridiano di Reichenbach, e nel 1862 uno spettroscopio di Hoffmann. Fra questi strumenti, Secchi osservatore instancabile, coadiuvato dallo stesso padre Rosa e dal padre Stanislao Ferrari, passò applaudito l'operosa vita sua, immaturamente troncata nel febbraio del 1878.

Degnissimo successor suo fu il professore Pietro Tacchini alla cui direzione ancor oggi è affidata la specola del Collegio Romano. Egli seppe al piccolo circolo meridiano di Ertel sostituirne uno nuovo più potente e di co-

struzione moderna, uscito dall'officina del Salmoiraghi di Milano; seppe circondarsi di coadiuvatori valenti, quali il professore Elia Millosevich, e per qualche anno il giovane e compianto dottor Domenico Peyra; seppe fra il plauso universale continuare l'opera degli illustri predecessori suoi.

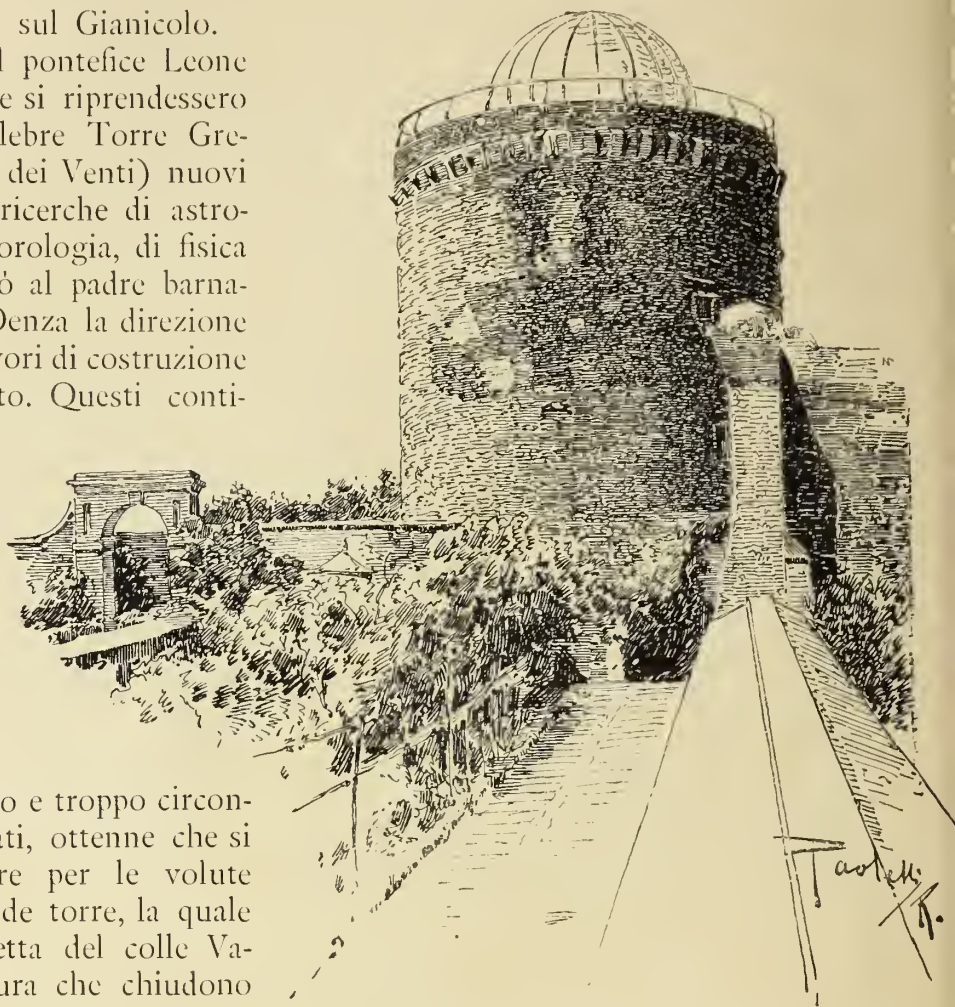
Roma che durò sì gran fatica ad avere la sua prima specola, venne nel secolo decimonono a contarne non meno che quattro.

Verso il 1827 il professore Feliciano Scalpellini, avendo ottenuto di abitare il palazzo del Campidoglio e di trasportarvi i suoi strumenti di fisica e di astronomia, collocò questi ultimi, un quadrante murale di circa un metro di raggio, un circolo ripetitore di Reichenbach di cm. 33 di diametro, una macchina parallatica con cannocchiale di 6 cm. d'apertura, in una camera da lui appositamente fabbricata sulla terrazza della torre occidentale del Campidoglio. Questa specola embrionale, molto frequentata da studiosi e da dilettanti, chiamata dapprincipio Specola Scalpellini, era destinata a trasformarsi più tardi in un proprio e vero osservatorio dello Stato. Fu Pio IX nel 1848 a volere che sulla robusta torre del Campidoglio occupata dallo Scalpellini, alta m. 37,81 sul suolo, con alla sommità una terrazza quadrata di metri 11 di lato, sorgesse questo nuovo osservatorio, e, chiamato da Bologna l'abate Ignazio Calandrelli, glie ne affidò l'incarico, somministrandogli ad un tempo i mezzi necessarii.

Specola Vaticana - La Torre Gregoriana.

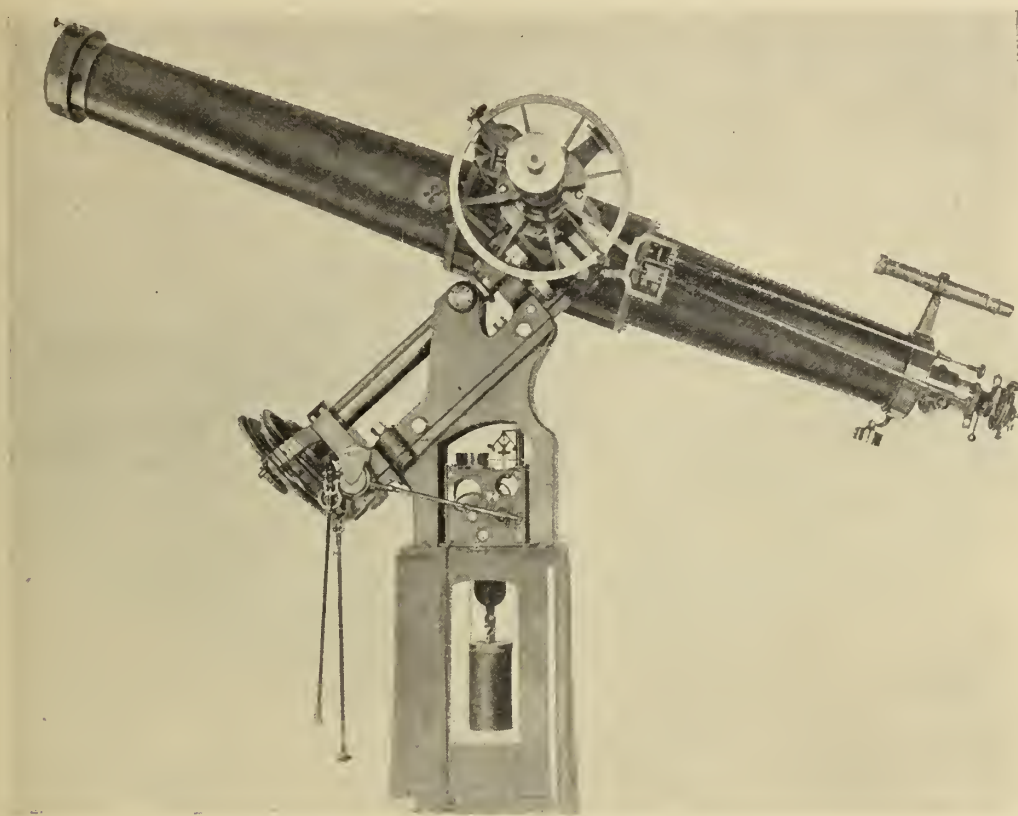
Sorse così il Pontificio Nuovo Osservatorio dell'Università Romana, ora detto Osservatorio Reale del Campidoglio, con un circolo meridiano di Ertel di cui il cannocchiale ha mm. 94 di apertura e m. 1,32 di lunghezza focale, con uno strumento equatoriale di Merz munito di cannocchiale del diametro di mm. 122, con un cannocchiale zenitale di Ertel largo mm. 108, lungo m. 1, 582. Lo diresse dal 1848 al 1866 il costruttore suo Ignazio Calandrelli, dal 1866 al 1889 l'illustre e compianto professore Lorenzo Respighi; lo dirige dal 1890 il professore Alfonso Di Legge coadiuvato dagli astronomi F. Giacomelli e abate A. Prosperi. È uno degli osservatorii italiani più favorevolmente noti, illustrato dagli importanti lavori in esso compiuti dagli astronomi che successivamente vi furono addetti.

Verso il 1880 il padre Stanislao Ferrari, professore di astronomia e col-

laboratore del padre Secchi al Collegio Romano, eresse dalle fondamenta a spese proprie sul Gianicolo uno dei pochissimi osservatorii privati che l'Italia possegga, e lo munì di strumenti pregiati fra i quali è particolarmente notevole un equatoriale di Merz con cannocchiale di mm. 108 d'apertura. La nuova specola, la terza in ordine di data fra le specole di Roma, è costrutta con criterii affatto moderni ed inappuntabili, ed il fondatore suo già seppe illustrarla con lavori importanti e renderla favorevolmente nota agli astronomi sotto il nome di Osservatorio del padre S. Ferrari sul Gianicolo.

Nel 1888 il pontefice Leone XIII decretò che si riprendessero nell' antica e celebre Torre Gregoriana (Torre dei Venti) nuovi studi e nuove ricerche di astronomia, di meteorologia, di fisica terrestre, e affidò al padre barnabita Francesco Denza la direzione dei necessarii lavori di costruzione e di adattamento. Questi continuarono nel 1889, e il padre Denza, persuaso, come già detto aveva G. Calandrelli, che la torre dei Venti era troppo vicina alla cupola di S. Pietro e troppo circondata da fabbricati, ottenne che si potesse occupare per le volute ricerche la grande torre, la quale trovasi sulla vetta del colle Vaticano sulle mura che chiudono il giardino, e la quale per la sua vastità, robustezza e posizione si prestava egregiamente a ricevere oltre agli strumenti di fisica terrestre anche gli astronomici. Questa torre, detta Leonina, dista oltre m. 400 dall'altra torre Gregoriana, e le due torri insieme unite vennero a costituire la Specola Vaticana con felice intuito destinata, per quel che riguarda l'astronomia, a lavori specialmente di fotografia celeste. Suo strumento principale è un equatoriale con due cannocchiali, l' uno fotografico di cm. 33 di apertura e m. 3,43 di distanza focale, l' altro collimatore largo 20 cm., lungo m. 3,60; suo direttore fu fino all' anno di sua morte (dicembre 1894) il padre Denza, ed egli in pochi anni seppe, coadiuvato specialmente dal padre Giuseppe Lais,

Specola Vaticana - La Torre Leonina.

vice direttore, e dall' ingegnere Federico Mannucci, dare alle ricerche della risorta Specola Vaticana un indirizzo giusto e sicuro, un impulso vigoroso che a lui sopravvivono perpetuandone l'onorata memoria; a successor suo da poco venne chiamato il padre Angelo Rodriguez de Preda.

L'osservatorio di Firenze, situato nell'angolo nord-est dell'edificio in cui sono riunite le collezioni del Museo di fisica e storia naturale, occupò co' suoi successivi ingrandimenti il piano superiore di un solido e abbastanza vasto fabbricato rettangolare nonchè la parte più alta di una torre quadrata attigua.

Strumento Equatoriale dell'Osservatorio S. Ferrari sul Gianicolo.

Dapprincipio fu affidato a uomini certo egregi, ma fisici piuttosto che astronomi, e durò per conseguenza fatica molta ad avviarsi. I suoi primi strumenti, fra i quali uno strumento dei passaggi e un settore zenitale, muniti l'uno e l'altro di cannocchiali pressochè uguali con cm. 10 circa di apertura e m. 2, 50 di lunghezza focale, ordinati amendue a Sisson in Londra nel 1779, messi a posto nel 1784 dall'astronomo Slop dell'università di Pisa, rimasero inoperosi fino al 1807, quando alla direzione della Specola fu chiamato il professore d'astronomia Domenico De-Vecchi. Nel 1824 fu aggiunto ad essi un circolo moltiplicatore di grandi dimensioni costrutto da Reichenbach a Monaco, nel 1854 uno strumento equatoriale con cannocchiale di cm. 28 di diametro e m. 5, 20 di distanza focale, nel 1857 uno spettroscopio a visione diretta il primo che siasi costruito.

Questi aumenti successivi della suppellettile sua istrumentale, le felici invenzioni in fatto d'ottica astronomica, quali il micrometro oculare, il cannocchiale iconanditico, il prisma a visione diretta che in esso fece G. B. Amici, astronomo e ottico di grandissimo valore, il quale lo diresse dal 1831 al 1864, le scoperte di comete in esso fatte fra il 1854 e il 1864 da G. B. Donati, le importanti osservazioni dallo stesso Donati fatte nel 1860 sugli spettri stellari, portarono l'osservatorio del Museo di Firenze ad alta rinomanza, ma di esso non fu mai appieno soddisfatto il Donati, che vi entrò nel 1852 come collaboratore dell'illustre Amici, e prese a dirigerlo come successore suo nel 1864.

Spiaceva al Donati la vicinanza immediata di una delle vie più frequentate, l'altezza soverchia a cui erano collocati gli strumenti; davano a lui fa-

Osservatorio di Arcetri a Firenze.

stidio non minore gli alti alberi del vicino giardino di Boboli, l'atmosfera di Firenze troppo illuminata durante la notte. Egli, stato scuolaro a Pisa dell'insigne Fabrizio Mossotti, vagheggiava una specola nella quale fossero possibili osservazioni astronomiche fondamentali, determinazioni rigorose ed assolute delle posizioni degli astri nello spazio, e altamente lamentava che a così nobile e delicato ufficio fossero insufficienti non solo la specola di Pisa, la quale oramai esisteva più che altro di nome, quella di Firenze a lui affidata, ma tutte indistintamente le specole italiane.

Aiutato dalla versatilità somma del suo ingegno, dal prestigio del nome suo notissimo anche ai profani memori della splendida cometa del 1858-59 stata da lui scoperta, egli ottenne nel 1866 di trasportare l' osservatorio astronomico suo dal Museo ad Arcetri, su quella collina stessa su cui Galileo Galilei passò gli ultimi anni della sua vita agitata e operosa.

Si pose all' opera con attività febbrile, e nel settembre del 1869 vide porre le fondamenta dell'edificio da lui ideato, e nell'ottobre del 1872 riuscì ad inaugurarlo con qualche solennità. Non era esso ultimato in ogni sua

parte; mancava quello a cui egli molto teneva, il circolo meridiano; erano in posto un piccolo equatoriale con cannocchiale di Fraunhofer largo cm. 11, il grande cannocchiale di Amici affidato ad una montatura equatoriale non munita per anco di cerchi graduati, ma ricca di accessorî preziosi per osservazioni di fisica celeste, fra i quali uno spettroscopio con 25 prismi.

Egli doveva però lasciare incompleta l' opera più importante della vita sua, e nel settembre del 1873, vittima immatura di cholèra del quale preso aveva i germi in un recente viaggio a Vienna, spirava ad Arcetri.

L'edificio da lui ideato, per colpa di chi ne aveva assunto la costruzione e per infiltrazione sovratutto delle pioggie, abbisognò presto di riparazioni e di modificazioni importanti. Di queste si occupò, a cominciare dal 1878 e fino al 1892, per incarico della presidenza del R. Istituto di studi superiori in Firenze, l'astronomo della specola di Milano Giovanni Celoria coadiuvato dall' architetto fiorentino Cesare Fortini, mentre altro degli astronomi della specola stessa, Guglielmo Tempel, ben noto per le numerose sue scoperte di comete, veniva sullo scorcio del 1874 su proposta del professore Schiaparelli chiamato ad Arcetri a compiervi le funzioni di osservatore e di astronomo.

Morto il Tempel nel 1889, compiuto nel 1892 il ristauro dell' edificio, trasformatavi la grande sala meridiana, veniva nel 1894 chiamato da Padova a dirigere il nuovo osservatorio l'astronomo Antonio Abetti. Egli con mano vigorosa, riparati e messi in posto gli strumenti già esistenti, iniziò tosto osservazioni importanti, e per la sala meridiana, in attesa del grande strumento pel quale essa fu ideata e ristaurata, acquistò un piccolo e notevolissimo strumento di nuova costruzione.

Portati ad Arcetri gli strumenti astronomici, l' antico osservatorio del Museo si trasformò in osservatorio meteorologico, ed ancor oggi come tale esiste. Nè esso è il solo che in Firenze stessa sia degno di nota. Notevolissimo vi è anzi l'osservatorio Ximeniano delle Scuole Pie, illustrato durante la prima metà del secolo dai lavori del celebre P. Giovanni Inghirami che fu autore principale della triangolazione e della carta della Toscana, diretto per molti anni a partire dal 1872 dal P. Filippo Cecchi e oggi dal P. G. Giovannozzi.

La celebrità deriva alla specola di Bologna da quello che in essa fecesi nello scorso secolo, nè durante il decimonono essa potè mai risollevarsi all'altezza, alla quale portata l'avevano Eustacchio Manfredi e Eustacchio Zanotti. Gli strumenti, due quadranti mobili di circa un metro di raggio, un semicerchio murale di dimensioni analoghe, ai quali osservava Manfredi, gli strumenti usati da Zanotti, un quadrante murale di Sisson con m. 1,22 di raggio, uno strumento dei passaggi dello stesso Sisson con cannocchiale lungo un metro circa, erano fra i più perfetti del tempo. Ad essi venne ad aggiungersi nel 1800 un piccolo strumento equatoriale di Dollond, nel 1808 un piccolo circolo ripetitore di Reichenbach, nel 1846 un circolo meridiano di Ertel con cannocchiale di mm. 90 di apertura e m. 1,40 di distanza focale, ma questi strumenti, posteriormente acquistati, pregevoli senza dubbio, non possono competere per importanza cogli antichi della specola, e tanto meno possono annoverarsi fra i notevoli dell'oggi.

Continuarono fino al 1836 per opera degli astronomi bolognesi le celebri effemeridi astronomiche cominciate da Manfredi nel 1715; si susseguirono alla direzione della specola uomini egregi, alcuni illustri, di ingegno tutti; Petronio Mateucci, successore di E. Zanotti, (1782-1800); G. Saladini e G. B. Guglielmini, (1800-1802); Lodovico Ciccolini, (1803-1815); Pietro Catturegli, (1815-1833); Francesco Bertelli e Gaetano Ceschi, (1833-1845); Ignazio Calandrelli, (1846-1848); Lorenzo Respighi, (1848-1864); Jacopo Michez (1865-1874); Alessandro Palagi, (1874-1876); Antonio Saporetti direttore dal 1876; ma a dar vita e fama ad un osservatorio non bastano astronomi valenti e operosi; bisogna che esso possa inoltre via via trasformarsi così come lo richiede l'evoluzione incessante della scienza.

Nel 1818 Francesco III, duca regnante, volle fondare a Modena un osservatorio astronomico, e chiamò dalla specola di Milano l'astronomo modenese Giuseppe Bianchi. Questi finì per scegliere a base del nuovo osservatorio la torre orientale del palazzo ducale, che presenta alla sommità un'area quadrata di m. 10 di lato, e di cui le mura all'altezza di 30 metri hanno ancora uno spessore di m. 1,50. La coprì con una robusta vôlta, e sovr'essa edificò una sala meridiana per un circolo di Reichenbach con cannocchiale di mm. 108 d' apertura e m. 1,62 di lunghezza focale, e una stanza coperta da cupola emisferica girante per un equatoriale con cannocchiale di Amici largo mm. 60, e munito del micrometro oculare a doppia immagine, invenzione dell' Amici stesso.

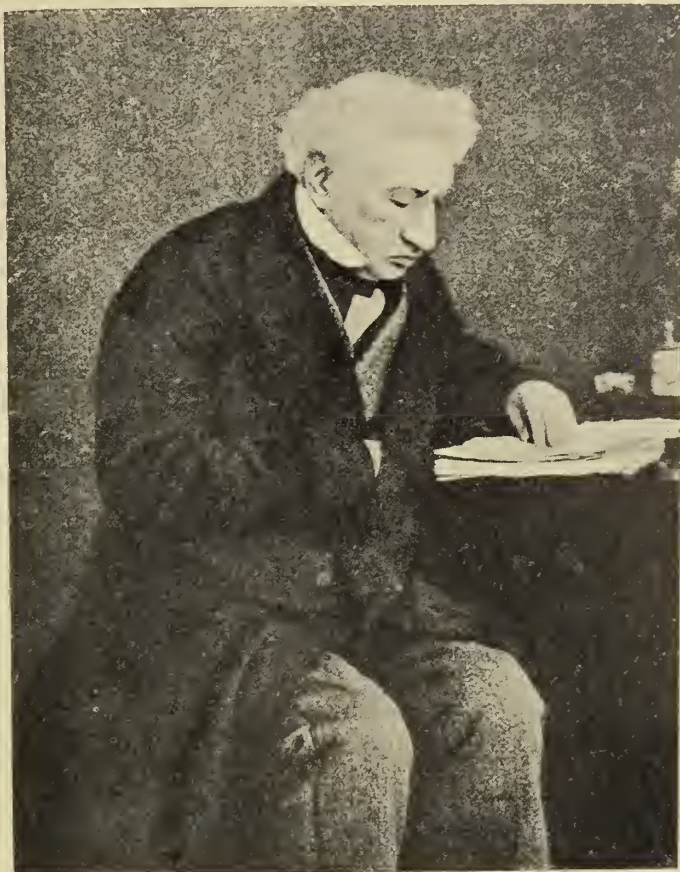
Nella storia dell'astronomia questa invenzione dell'Amici merita di essere specialmente ricordata, e lo faccio qui sebbene in modo incidentale. Essa risolve con una disposizione oculare il problema stesso che si proposero di risolvere per diverse vie Dollond e Fraunhofer; Dollond dividendo una lente in due parti, applicandola avanti all'obbiettivo, e producendo così il micrometro detto obbiettivo; Fraunhofer osando di tagliare secondo un diametro l'obbiettivo stesso, e dando così origine all'eliometro, strumento di molta precisione e portato ultimamente a rara perfezione dai Repsold di Amburgo.

Agli strumenti a poco a poco acquistati e raccolti in Modena potè il Bianchi cominciare nel 1829 le osservazioni sue, senza dichiararsene però mai appieno soddisfatto, e rimproverando anzi loro difetto di precisione, di stabilità, di potenza ottica. Sfiduciato, preferì nel 1858 passare alla specola privata del marchese Montecuccoli, abbandonando quella da lui fondata, e della quale assunse nel 1859 la direzione l' astronomo Pietro Tacchini. Non vi rimase egli a lungo, chè nel 1863 accettò il posto di astronomo nella specola di Palermo, cedendo a Domenico Ragona la direzione di quella di Modena. Non era però questa specola, per quel che riguarda l'astronomia, sortita a grandi destini. Il Ragona stesso finì per indirizzarla più specialmente a ricerche di meteorologia e di geografia fisica, e, lui morto nel 1892, il successore, professor C. Chistoni, non credette poterne punto mutare l'indirizzo.

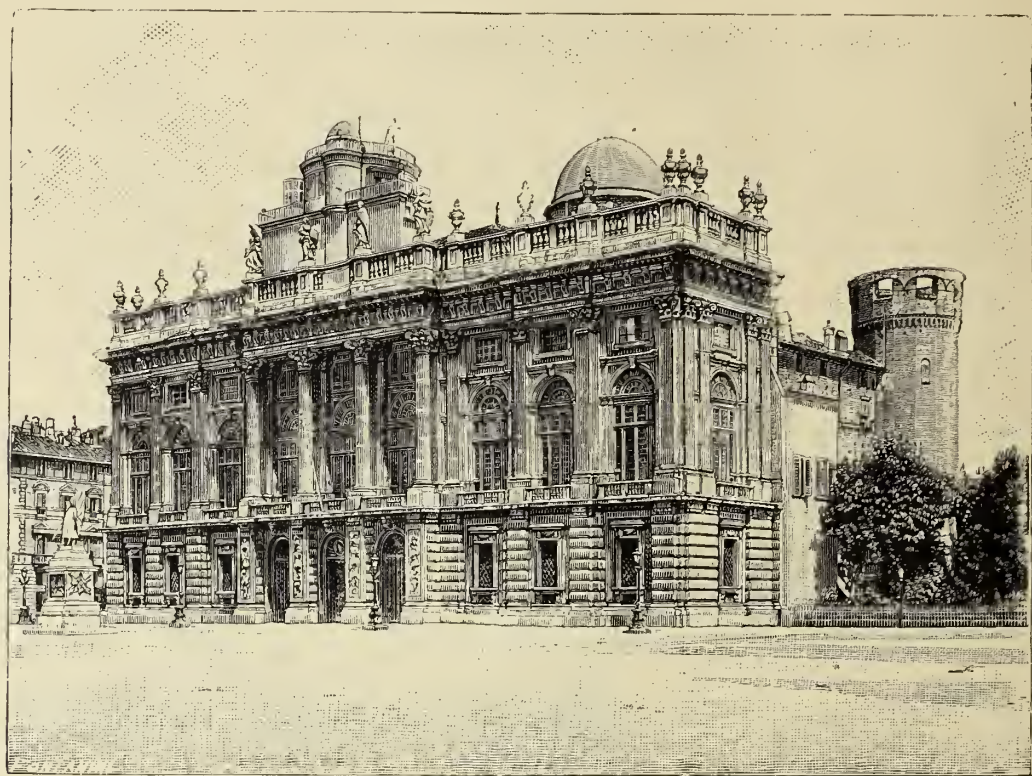
Quando nel 1811 Giovanni Plana succedette all'abate Valperga di Caluso nella cattedra di astronomia all'Università, e quando due anni dopo egli assunse la direzione dell'osservatorio nel palazzo dell' Accademia delle scienze,

questo possedeva soltanto due cannocchiali di Dollond, lunghi m. 1, 20 l'uno, m. 2, 00 l'altro, ed un circolo ripetitore di Fortin di cm. 49 di diametro, nè era suscettibile di ampliamenti notevoli. Gli avvenimenti ricondussero a Torino nel 1814 Vittorio Emanuele I protettore degli studi astronomici, e Plana da lui ottenne di trasportare altrove la specola, di acquistare tosto alcuni strumenti minori, e di ordinare a Reichenbach e Fraunhofer un circolo meridiano fra i più grandi del tempo con cannocchiale largo mm. 109, lungo m. 1, 62, un circolo moltiplicatore di cm. 49 di diametro, un piccolo strumento equatoriale di cui il cannocchiale avesse cm. 12 di apertura e cm. 82 di distanza focale principale.

Giovanni Plana.

L'osservatorio, malgrado il contrario avviso del barone di Zach, fu trasportato al palazzo Madama, sulla torre più occidentale delle due che limitano la facciata, torre robusta, facilmente accessibile, alta m. 37,70 sul suolo; gli strumenti furono collocati sulla terrazza sua, della quale si rinforzò la vôlta e sulla quale si edificarono edificii opportuni. Tutto fu ultimato e in assetto nel 1822, e Plana dal 1822 al 1825 fece nella nuova specola osservazioni pubblicate nel 1828 a Torino. Egli fu però dal suo genio analitico presto portato a illustrare il proprio nome con ricerche rimaste storiche sulla teoria dei movimenti della Luna; ne venne danno grave all'osservatorio e all'astronomia pratica, tanto più che egli non amò mai farsi sostituire da altri in quelle osservazioni che pur trascurava.

Morto Plana nel 1864, fu chiamato nel 1865 a dirigere la specola di Torino il professore Alessandro Dorna, ed egli indirizzò ogni sforzo suo a migliorarne i locali, gli strumenti, il personale. Riuscì nel 1875 a costruire una vasta cupola girante, nel 1876 a porre in posto uno strumento equatoriale con cannocchiale di Merz di mm. 117 d'apertura; ottenne che istituito fosse un posto di astronomo aggiunto, e al medesimo nel 1885 chiamò dalla specola di Milano l'astronomo Francesco Porro. Morte immatura lo colse nel 1886, e il Porro lo sostituì. Con opportunissimo e moderno concetto questi, piuttosto che trasformare l'osservatorio di palazzo Madama poco suscetttibile di

essere svecchiato, ricorse a stazioni succursali, e ne stabilì due una sul colle di Superga, l'altra a Pino Torinese.

Sono abbastanza note, per quanto dissi in altro capitolo, le origini dell' osservatorio astronomico di Milano, le quali risalgono al 1760. Fondatori ne furono i P. P. Gesuiti, i quali, padroni verso la metà del secolo scorso di tutto il vasto insieme di edificii a cui in Milano si suol dare il nome di Palazzo di Brera, vi tenevano, oltre al loro Cenobio, un Collegio floridissimo destinato agli studi superiori di Filosofia e di Teologia, dotato delle prerogative tutte di una università. Nel Collegio, a quel tempo molto frequentato, l'insegnamento della Filosofia abbracciava, così come oggi nelle università ger-

Osservatorio di Torino.

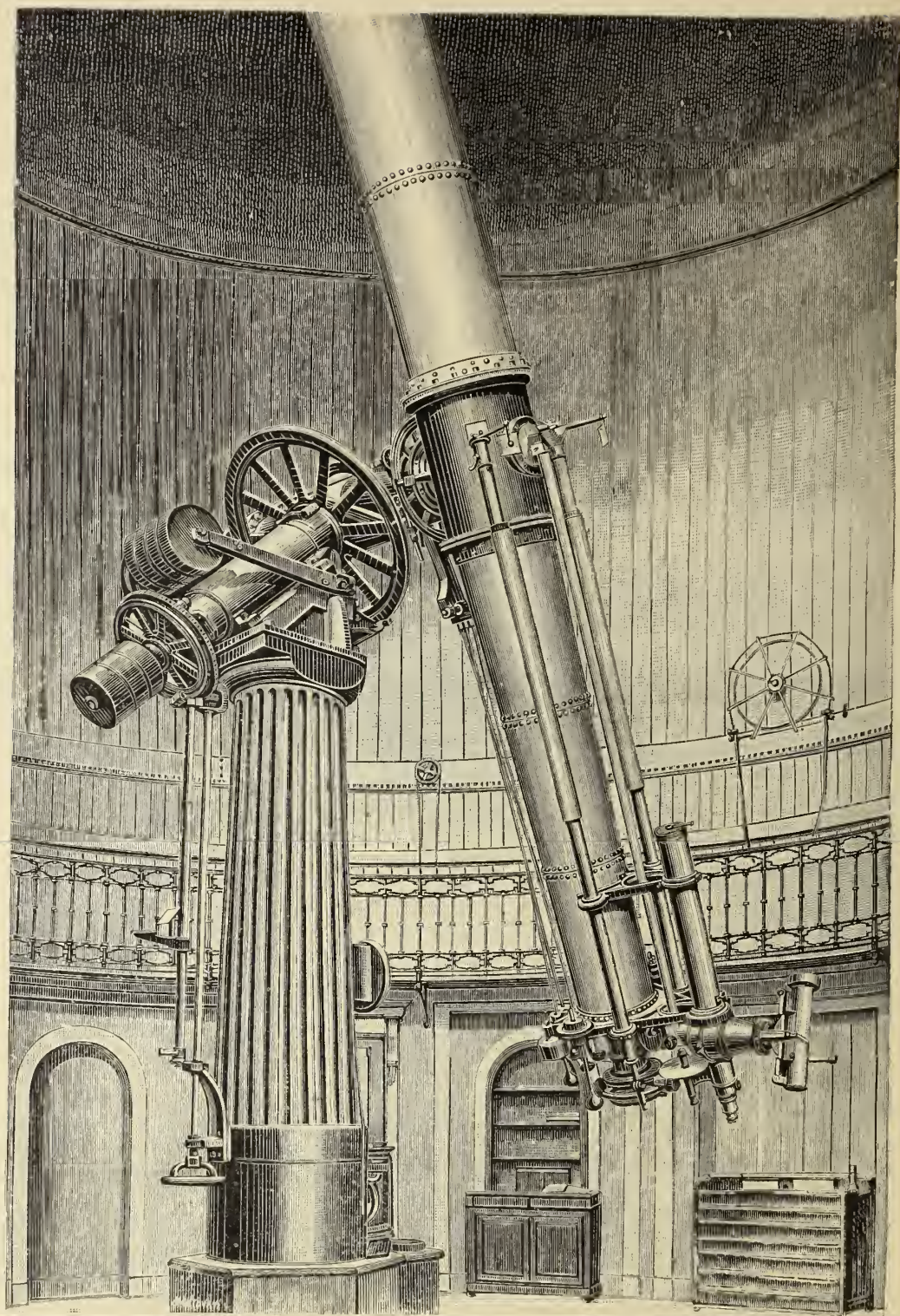
maniche, anche gli studi di Matematica e di Fisica, e furono appunto due Lettori di Filosofia del Collegio, i P. P. Pasquale Bovio e Domenico Gerra, che cominciarono nel 1760 a studiare in Brera gli astri ed i movimenti celesti.

Essi erano però più dilettanti che astronomi veri, e nel 1762 fu quindi dal Rettore del Collegio chiamato a Milano il P. Luigi Lagrange, Gesuita egli pure, da parecchi anni cooperatore lodato del P. Pezenas nella specola di Marsiglia, ed a lui nel 1764 si aggiunse ancora il celebre P. Gesuita Giuseppe Ruggero Boscovich, professore di Matematiche all'Università di Pavia. La Grange e Boscovich furono i veri organizzatori dell'osservatorio di Brera, Boscovich sovratutto, uomo di grandissimo ingegno, matematico, astronomo, ingegnere peritissimo, che già dato aveva per la specola del Collegio Romano quel disegno che il P. Secchi potè poi attuare.

Fu Boscovich che scelse a sede del nuovo osservatorio l'angolo sud-est del vastissimo Collegio di Brera, come luogo più conveniente allo scopo e più lontano dalle strade che circondano Brera dai lati di ponente e di settentrione. Fu Boscovich che studiò in tutti i suoi particolari il piano del nuovo osservatorio, che determinò la distribuzione e la forma degli archi, delle vôlte, delle legature di ferro e di legno che si dovevano imporre al saldo edificio già esistente, perchè gli strumenti potessero essere collocati in modo abbastanza stabile secondo le idee di quel tempo. Fu sui piani di Boscovich, approvati e lodati dal governatore della Lombardia e dal conte di Firmian, che si diede mano ai lavori; e questi, condotti con sapiente energia ed a spese del Collegio, già entro l'estate del 1765 erano portati a compimento.

Osservatorio di Brera dopo il 1885.

Consistevano essi principalmente di una grande sala per i quadranti murali, gli strumenti allora preferiti, e per altri strumenti meridiani; di una grande e bella sala ottagona per gli strumenti minori, per gli equatoriali e per le osservazioni di vario genere, dotata di ampie finestre, di terrazze laterali, di due cupolette mobili, portate in seguito a quattro e collocate rispettivamente in corrispondenza dei lati nord-est e nord-ovest, sud-est e sud-ovest dell'ottagono. In questi locali diversi, che nel loro insieme furono in quel tempo assai lodati e che rassomigliavano alquanto a quelli dell'antico osservatorio di Greenwich, trovarono posto i primi strumenti destinati alle osservazioni, e che nel 1775 erano un quadrante murale e un sestante, l'uno e l'altro di Canivet e con m. 1,95 di raggio; uno strumento dei passaggi di Megele con cannocchiale di Dollond lungo m. 1,83; un settore equatoriale di Sisson con cannocchiale di mm. 102 d'apertura e m. 1,42 di distanza focale. Ad essi venne ad aggiungersi: nel 1791 un quadrante murale di Ramsden con cannocchiale largo mm. 81, lungo m. 2,60; nel 1793 un telescopio di Herschel con m. 2,13 di distanza focale e mm. 156 di diametro; nel 1809 un circolo moltiplicatore di Reichenbach con diametro uguale a cm. 97; nel 1810 un nuovo strumento dei passaggi di Reichenbach sostituito all'antico di Megele.

Dapprincipio non regnò nell'osservatorio di Brera quella concordia che entratavi più tardi, non ne doveva uscire più mai. Fra Boscovich, uomo ar-

Grande equatoriale dell'Osservatorio di Milano.

dente, ricco di idee e di iniziative, non abbastanza lealmente e vigorosamente sostenuto dai colleghi dell'ordine, e La Grange, verso il quale i Gesuiti del Collegio di più inclinavano, nacque una serie di conflitti spiacevoli, sicchè Boscovich irritato se ne partì nel 1772 per Parigi, donde ritornò a Milano solo nel 1785 per morirvi nel 1787.

Partito nel 1772 il P. Boscovich, l'osservatorio di Brera, in conseguenza della Bolla di soppressione dell'Ordine gesuitico pubblicatasi nell'estate del 1773, divenne d'un tratto proprietà dello Stato, rimanendovi però ancora direttore il P. La Grange ed astronomi il P. Francesco Reggio, il P. Angelo Cesaris, l'abate Barnaba Oriani. Molto non durò il La Grange nella nuova sua posizione ufficiale; se ne ritrasse anzi nel 1777, riducendosi a Macon, patria sua, dove morì nel 1783. Partito La Grange, la direzione dell'osservatorio di Brera passò nelle mani di Reggio, ma in realtà fra i tre amici e colleghi Reggio, Cesaris, Oriani non vi fu mai indizio di differenza di grado. Uniti dai nobilissimi intenti loro, con indefesso lavoro, con ingegno vario essi portarono l'osservatorio di Brera a un alto grado di celebrità.

Francesco Carlini.

Morto Reggio nel 1804, continuò l'osservatorio ad essere illustrato dai lavori di Cesaris e di Oriani, da quelli di quest' ultimo in ispecie, astronomo celebre e uomo insigne, fino al 1832, anno in cui l'uno e l'altro vennero a morire. Nel 1833 assunse la direzione dell'osservatorio di Brera e la tenne fino al 1862 Francesco Carlini, il quale già dal 1799 apparteneva all' osservatorio come alunno, e fu astronomo di larga riputazione e di indiscusso valore. Nel lungo periodo della direzione sua appartennero per molti anni all' osservatorio di Brera gli astronomi Carlo Kreil, Roberto Stambuchi, Paolo Frisiani, Giovanni Battista Capelli, Curzio Buzzetti, Ernesto Sergeant-Marceau, e durante il medesimo l' osservatorio ebbe il suo primo ampliamento.

Nel 1825 fu ordinato al meccanico Starke di Vienna un circolo meridiano con cannocchiale di Reichenbach di mm. 108 di apertura e m. 1,35 di

distanza focale. Era per quel tempo uno strumento importantissimo, e, non essendovi per esso posto opportuno nell'antico edificio di Boscovich, fu deciso di collocarlo nella torre dell'antica chiesa di Brera, che sorgeva a pochi metri di distanza. Vi furono fatte le modificazioni ed i ristauri necessari e in essa nel 1834 fu collocato il primo circolo meridiano che la specola acquistasse, il solo che ancor oggi essa abbia.

A Carlini succedette quale direttore nel 1862 Giovanni Schiaparelli, posto che ancor oggi egli occupa circondato dal plauso e dall'ammirazione universale. Collaboratori suoi principali furono e sono Giovanni Celoria, Michele Rajna, Edoardo Pini, e per qualche anno Guglielmo Tempel e Francesco Porro passati poi l'uno a Arcetri, l'altro a Torino; sotto alla direzione sua la specola si ampliò e quasi si trasformò. Due nuovi e grandi strumenti furono per merito suo acquistati; l'uno nel 1862 l'altro nel 1878. Il primo è uno strumento equatoriale di Merz con cannocchiale di venti centimetri circa di apertura, e fu collocato in una torre quadrata robusta, a pochi metri e a nord-est della torre meridiana. Il secondo è uno strumento celebre, per il quale il Re e il Parlamento, essendo ministro della Pubblica Istruzione Francesco De Sanctis e relatore del progetto alla Camera dei deputati Quintino Sella, decretarono una somma di L. 250,000. È uno strumento equatoriale, nella sua parte meccanica eseguito dai Repsold di Amburgo, il cui cannocchiale è di gran lunga il più grande in Italia con mm. 487 di apertura e m. 6,95 di distanza focale, ed uscì dalle mani di Merz. A collocarlo degnamente furono dell'antico edificio di Boscovich abbattute la sala ottagona e le quattro cupolette mobili ad essa addossate, ed al posto loro fu costrutta una grande torre cilindrica di m. 12 di diametro esterno, di m. 11 di diametro interno, coperta da una grande cupola mobile a forma di tamburo di ugual diametro. Il peso di questa cupola mobile è di circa 400 quintali, e, ciò malgrado, la si muove con uno sforzo di soli cinque chilogrammi. Ne va lode a chi diresse il suo impianto e inoltre alla Ditta Süffert che la eseguì, adottando per essa il sistema di posa e di trasmissione del movimento ideato da Grubb per la grande cupola del refrattore equatoriale di Vienna.

Padova dal punto di vista scientifico e da quello astronomico ha due glorie invidiabili; l'Università sua secolare, Galileo Galilei il quale per 18 anni dal 1592 al 1610 vi dimorò, maestro insigne, agitatore inarrivabile di nuove idee, scopritore fortunato di verità inattese, uno dei creatori della scienza del moto, fondatore in fisica del metodo sperimentale. L'osservatorio di Padova fu fondato da Giuseppe Toaldo in quella torre stessa che nel 1242 era stata costrutta per ordine di Ezzelino III come fortezza e prigione di Stato, e fu da lui diretto fino all'anno di sua morte nel 1797. Successori suoi furono Vincenzo Chiminello (1797-1815); Giovanni Santini (1815-1877); Giuseppe Lorenzoni, l'attuale direttore.

Chiminello ne tenne la direzione in tempi difficili e burrascosi, ed è merito suo se la specola da poco sorta non fu in quegli anni soppressa. Egli seppe difenderla con energia somma, e a mantenerla in vita alienò la più gran parte del suo patrimonio privato. Santini coll'ingegno suo, coll'operosità della

sua lunga vita seppe assicurare alla specola di Padova un posto duraturo nella storia della scienza, coadiuvato nel nobile compito suo da Virgilio Trettenero morto nel 1863, de Jacopo Michez passato poi all'osservatorio di Bologna, da Giuseppe Lorenzoni, il quale ne continuò le tradizioni, osservando incessantemente, scegliendo a collaboratori Antonio Abetti, Giuseppe Ciscato, A. Antoniazzi, facendo della specola a lui affidata una delle più rispettate scuole di astronomia in Italia.

La specola di Padova nacque vitale, e come tutti gli organismi sani nella sua naturale evoluzione seppe adattarsi alle esigenze dell' ambiente e seguire da vicino i progressi dell'astronomia istrumentale. Suoi strumenti d'osservazione erano in origine un gnomone di m. 3,40 circa di altezza, e un quadrante mobile di Adams di cm. 65 di raggio; ad essi si aggiunse: nel 1779 un quadrante murale di Ramsden di m. 2,44 di raggio; nel 1810 uno strumento dei passaggi di Reichenbach con cannocchiale di mm. 108 di apertura e m. 1,20 di distanza focale; nel 1815 un circolo moltiplicatore di Reichenbach con diametro di cm. 32; nel 1833 un piccolo equatoriale di Amici con cannocchiale lungo un metro circa e con micrometro oculare a doppia immagine; nel 1837 un circolo meridiano di Starke con cannocchiale di mm. 108 d'apertura e m. 1,63 di distanza focale; nel 1858 uno strumento equatoriale di Merz con cannocchiale di mm. 117 di apertura; nel 1882 un equatoriale di potenza maggiore con cannocchiale di Merz, il rifrattore di sette pollici ben noto in astronomia per le misure di stelle doppie ad esso fatte dal barone Ercole Dembowski.

Giovanni Santini.

Ercole Dembowski non ebbe mai carica di astronomo uffiziale. Visse e lavorò come astronomo indipendente e privato, con strumenti proprî, in osservatorii da lui edificati. Passò la prima parte di sua vita come ufficiale della marina austriaca; a 31 anni, nel 1843, diede le proprie dimissioni, si stabilì a Napoli, e libero oramai da ogni impegno ufficiale si diede a completare in

varie direzioni la sua istruzione scientifica e letteraria, alla quale i suoi obblighi militari non avevano per l'addietro concesso di dare un grande sviluppo.

Prese ad occuparsi con passione di cose astronomiche, strinse intima relazione con Antonio Nobile, astronomo a Capodimonte, fece l'acquisto di un cannocchiale dialite di mm. 135 d'apertura costrutto da Simone Plössl di Vienna, e con esso si stabilì nel borgo di San Giorgio a Cremano presso Napoli, costruendosi col semplice aiuto di intelligenti operai del luogo e la montatura equatoriale del Plössl e una piccola specola. Ivi cominciò alla fine del 1851 le sue misure sulle stelle doppie, e collo stesso strumento le continuò fin dopo la metà del 1858.

Alla fine del 1858 abbandonò Napoli, e dopo un breve soggiorno a Firenze ed a Milano, stabilì definitivamente la sua sede astronomica in una villa a Cassano Magnago presso Gallarate. Vi si costruì un nuovo osservatorio, ed avendo nel frattempo acquistato da Merz un cannocchiale di sette pollici, mm. 189, montato equatorialmente e del suo primo Dialite più potente, cominciò con esso nel 1862 una nuova serie di osservazioni sopra i suoi favoriti sistemi stellari, e le proseguì con ardore sempre crescente fino al 1879.

Dembowski.

In questo anno l'affitto della villa da lui occupata a Cassano Magnago essendo giunto al suo termine, Dembowski non lo rinnovò, ed acquistò invece una piccola casa a Monte, frazione del Comune di Albizzate poco distante dal Lago Maggiore, dove nel maggio si trasportò. Aveva in animo di ricostruirvi il suo osservatorio e di cominciarvi una nuova serie di osservazioni, ma non lo potè. Aveva sempre sofferto di gotta; arrivato in Albizzate, gli attacchi si rinnovarono con forza sempre maggiore e non lo abbandonarono più; dopo breve malattia vi morì il 19 gennaio del 1881.

Dembowski fu uno dei primi nostri astronomi pratici nel secolo decimonono, e meritava qui una commemorazione speciale, perchè le sue specole a San Giorgio a Cremano e a Cassano Magnago saranno sempre ricordate nella storia dell'astronomia italiana.

Altre specole private si ebbero e si hanno in Italia, fra esse quella detta Collurania a Teramo dell'astronomo Vincenzo Cerulli; altre specole minori,

o ufficiali o appartenenti a corporazioni diverse, esistono; la importante e ben nota specola dell'Ufficio Idrografico della Marina a Genova; la specola della R. Università di Parma, che col compianto professor Pietro Pigorini accennò un momento a voler risorgere a vita attiva astronomica; la specola del collegio Reale Carlo Alberto a Moncalieri; gli osservatorii dell'Istituto Nautico e del Seminario Patriarcale a Venezia; ma certo è che nella loro più gran parte le specole italiane sono specole ufficiali, e che esse, come quelle del resto di quasi tutta Europa, sorgono e si mantengono a spese dello Stato.

Non così in Inghilterra e nelle Americhe; in Inghilterra sono poche le specole governative: Greenwich, Oxford, Cambridge, Edimburgo, Dublino, Glascow; sono molte le private: quella di lord Lindsay a Dun-Echt, quella di Newal a Gateshead, quella di lord Rosse a Birr Castle, quella di Common ad Ealing, quella di Huggins a Tulse Hill, quella di Bessemer a Denmark Hill. Negli Stati Uniti d'America v'è un solo osservatorio astronomico, quello di Washington, mantenuto a spese dello Stato. Gli altri, e sono molti, sorsero tutti per iniziativa privata, e alla privata ricchezza devono ancora la loro sussistenza.

Questo stato di cose è caratteristico della razza anglo-sassone, presso la quale lo spirito di intraprendenza è grande, e l'individuo dall'ambiente e dall'educazione presto acquista coscienza del proprio valore, e sa di rappresentare una forza sociale viva, la cui efficacia meno nelle circostanze esteriori che nella volontà propria trova sua misura. Non bastano però la ricchezza e lo spirito d'iniziativa individuale a tutto spiegare, tanto più presso popoli grandi sopratutto per il loro spirito pratico. Occorrono inoltre vita pubblica intensa, gagliardia di forze economiche sociali, e sopratutto fede robusta nella scienza in generale, nell'astronomia in particolare e nella efficacia loro.

Fra noi troppi pensano ancora che l'astronomia, pur essendo una scienza nobilissima, soggiorni tuttavia in regioni troppo speciali, e di umano abbia questo solo, che è coltivata da uomini. Niente è più falso. Fra tutte le scienze nessuna ha maggiori attinenze coll'uomo considerato in sè medesimo, e nei suoi rapporti sociali. Essa è la base della cronologia, e in grazia sua cessarono per sempre gli incerti e confusi sistemi cronologici dei tempi passati; essa è la base della geografia e della navigazione, e in grazia sua soltanto è possibile penetrare con sicurezza in regioni continentali inesplorate, o solcare i mari quanto sono lunghi e largi; essa è scienza educatrice per eccellenza, e, come tale, scienza umana non solo ma umanissima; solleva la mente senza portarla ad urtare coll'incomprensibile e coll'infinito, ne allarga i confini senza avviarla a creazioni fantastiche, ispira concetti sani e sereni, pensieri di singolare grandiosità. Tutto questo ben sanno gli anglo-sassoni, ed è ragione del culto loro per l'astronomia, culto che, ove poggiar dovesse soltanto sopra sentimenti estetici e panteistici ispirati dallo spettacolo dell'universo, riuscirebbe in massima parte inesplicabile.

VI.

I cannocchiali astronomici: Loro elementi essenziali — Obbiettivo — Oculare — Caratteri loro principali — Potenza luminosa — Forza di penetrazione — Perfezione delle immagini — Condizioni che producono la bontà di un cannocchiale — Da che derivi ad un cannocchiale l'appellativo di grande — Industria della fusione dei vetri ottici e industriali più rinomati — Arrotatura dei vetri ottici e i più apprezzati costruttori di cannocchiali — Progressiva grandezza dei cannocchiali costrutti nel secolo XIX — I più grandi cannocchiali del secolo — Loro montatura equatoriale — Equatoriale con cannocchiale spezzato — Grande cannocchiale dell'Espozione di Parigi (1900) e disposizione generale delle sue parti.

Cannocchiali: macchine elaborate dalla meccanica di precisione la più squisita: analisi matematica: ecco i tre mezzi principali dei quali si serve l'astronomo nella sua lotta nobile, tranquilla, tenace, vittoriosa col mondo.

Tutti sanno all' ingrosso che cosa sia un cannocchiale, pochi che la fabbricazione e la perfezione sua dipendono da molte e complesse questioni di chimica, di ottica, di meccanica, di geometria, di analisi. Un cannocchiale, quale si usa in astronomia, non è che un tubo armato di vetri lavorati in forma di lenti sferiche. Di queste lenti alcune stanno dalla parte dell'osservatore e costituiscono l'oculare, altre all'estremità opposta, dalla parte rivolta all'oggetto che si guarda, e formano l'obbiettivo.

L'obbiettivo dà dell'oggetto guardato un'immagine determinata nel proprio piano focale; l'oculare guarda quest'immagine e la fa apparire ingrandita all'occhio dell'osservatore. La medesima immagine guardata con oculari diversi appare più o meno grande; ma questo è singolare, che le lenti dell'oculare sono in generale tanto più piccole e tanto più facili a lavorare quanto più forte è l' ingrandimento che si vuol ottenere, sicchè il costrurre oculari potentissimi non presenta difficoltà serie.

Non si può però crescere indefinitamente l'ingrandimento dell'oculare da adattarsi ad un dato cannocchiale. Quanto cresce l'ingrandimento dell'oculare, altrettanto diminuisce lo splendore dell'immagine veduta, ed, oltrepassato un certo limite di ingrandimento, l'immagine diventa così debolmente luminosa che i suoi dettagli, malgrado ingranditi, sfuggono all'occhio. Esiste per ogni cannocchiale un ingrandimento massimo, oltre il quale non si può andare, e la ragione ne è semplice. Nel cannocchiale non entra che una quantità determinata di luce, quella che è raccolta e trasmessa dall'obbiettivo. La luce che illumina l'immagine formantesi nel piano focale di questo dipende unicamente dall'obbiettivo, per nulla dall'oculare; quanto maggiore è l'ingrandimento prodotto da quest'ultimo, la stessa quantità di luce deve, diffondendosi, illuminare una superficie sempre più vasta, ed è ben naturale che questa appaia sempre meno lucente.

Dall'obbiettivo dipende quindi lo splendore delle immagini che noi vediamo in un cannocchiale; da esso in ultima analisi dipende ancora la potenza dell'ingrandimento possibile; da esso dipendono la potenza luminosa e la forza di penetrazione di un cannocchiale.

Da un dato oggetto, ad una determinata distanza, l' occhio riceve una quantità di luce che dipende dall'apertura della sua pupilla; la quantità di luce

che da quell'oggetto alla stessa distanza entra in un cannocchiale, dipende invece dall'apertura del suo obbiettivo; questa quantità di luce, in date condizioni di ingrandimento, può entrare tutta nell'occhio dell'osservatore, e il rapporto fra la quantità di luce che il cannocchiale porta all'occhio e quella che questo, disarmato, riceverebbe dal medesimo oggetto, costituisce appunto la potenza luminosa del cannocchiale. Dessa è rappresentata press'a poco dal rapporto dei quadrati dei raggi dell'obbiettivo e della pupilla; ritenendo quest'ultimo uguale in media a mm. 2,37 e tenendo conto della quantità di luce assorbita dal vetro obbiettivo, un cannocchiale con obbiettivo di cm. 20 di diametro porta all'occhio 1513 volte più luce di quella che l'occhio nudo riceverebbe, ed ha quindi una potenza luminosa espressa dal numero 1513; cannocchiali con obbiettivi di cm. 50 e di cm. 100 d'apertura avrebbero potenze luminose espresse rispettivamente dai numeri 9458 e 37832.

La quantità di luce che, emanata da un oggetto dato, entra in un cannocchiale o nell'occhio, dipende evidentemente dalla distanza a cui esso si trova. La forza di penetrazione e la potenza luminosa di un cannocchiale sono quindi due termini correlativi, ed è facile dimostrare che la prima è uguale alla radice quadrata della seconda. Così la forza di penetrazione del cannocchiale la cui potenza luminosa è data da 1513 viene espressa in cifra tonda dal numero 39, ossia un oggetto si vede nello stesso modo coll'occhio nudo all'unità di distanza e col cannocchiale alla distanza di 39. L'ultima stella visibile ad occhio nudo può immaginarsi sprofondata nello spazio 39 volte la sua distanza e il cannocchiale in questione riescirà a farla ancora vedere; potrebbe sprofondarsi 97 volte la distanza stessa e il cannocchiale di 50 cm. di apertura la rintraccerebbe ancora; potrebbe sprofondarsi nello spazio universo 194 volte la sua distanza attuale, e non sfuggirebbe ad un cannocchiale come quello più sopra considerato di un metro di diametro. Così avviene che l'universo svelato dai cannocchiali nostri diventa più e più grande quanto più cresce l'apertura dei cannocchiali stessi.

Dall'obbiettivo non solo dipendono la potenza luminosa e la forza di penetrazione, ma ancora la qualità dell'immagine data da un cannocchiale. Mentre le due prime dipendono dalle dimensioni dell'obbiettivo, le ultime dipendono invece dalla perfezione della materia ond'esso è composto, e dal grado di esattezza con cui le sue superfici sono lavorate. La parte essenziale di un cannocchiale, quella da cui ne dipende l'eccellenza, sta quindi tutta nell'obbiettivo. Nelle qualità intrinseche dell'obbiettivo, nella uniformità cioè della sua costituzione chimica e nella esatta curvatura delle superfici sue, sta il carattere che fa un cannocchiale più o meno degno dell'appellativo di buono; dalle dimensioni dell'obbiettivo deriva ad un cannocchiale l' appellativo di più o meno grande.

Noi ereditammo dal secolo decimottavo l'arte di fare gli obbiettivi con due lenti accoppiate, l'una di vetro crown, che è un silicato misto di potassa di soda e di calce, l'altra di vetro flint, che è un silicato misto di potassa e di piombo, riuscendo così ad ottenere immagini fino ad un certo punto, e per quanto la pratica l'esige, scolorate od acromatiche. Il secolo nostro riuscì a perfezionare la difficilissima arte; la perfezionò producendo vetri di omo-

geneità perfetta, di densità diverse, di diverso potere rifrangente e dispersivo, di dimensioni notevoli; la perfezionò trovando modo di determinare il potere rifrangente e dispersivo delle masse vitree con una precisione ignota ai fisici dello scorso secolo. Fu P.. L. Guinand (1748-1824), che avviò sul giusto sentiero l'industria di fondere vetri per cannocchiali; fu G. Fraunhofer che primo riuscì a precisare i confini dei colori successivamente diversi nei quali un raggio di luce solare rifrangendosi si disperde, e a individuare con tutta esattezza un punto qualunque dello spettro luminoso.

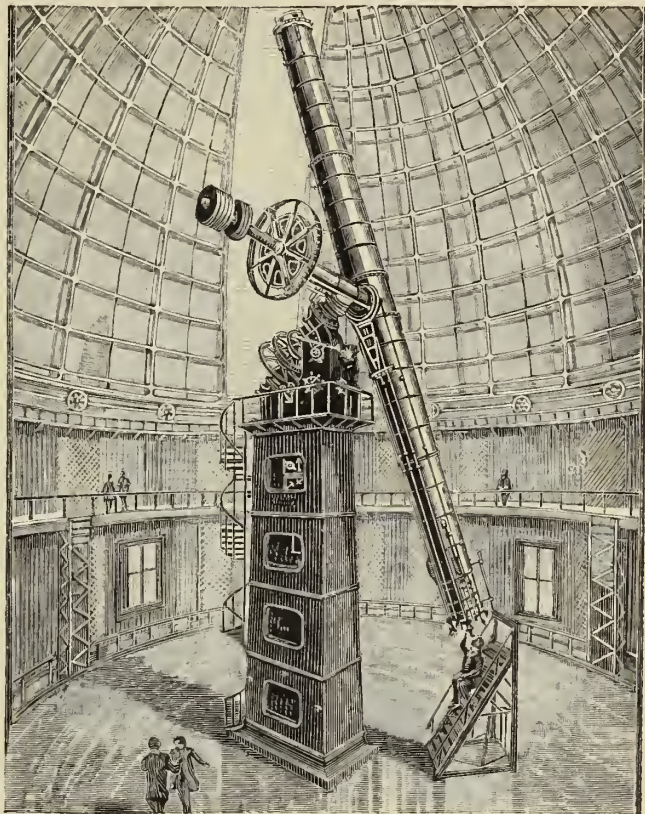
Sulle orme del celebre Guinand camminarono quanti nel secolo nostro si occuparono dell'industria di fondere vetri per l'ottica, industria difficilissima che conta tre sole ditte favorevolmente conosciute; la ditta C. Feil petit-fils de Guinand, oggi Mantois, a Parigi; la ditta fratelli Chance e compagni, a Birmingham; la ditta Schott e compagni, a Iena; la prima famosa per le tradizioni sue e per le grandi dimensioni dei dischi fusi; la terza di fresca data e notevole per ciò che seppe dare agli ottici nuove paste vitree, nuovi crown e nuovi flint, i cui indici di rifrazione vanno da 1,5019 a 1,9626, che permisero la costruzione di obbiettivi, dal punto di vista dell'acromatismo almeno, perfetti.

G. Battista Amici.

Sulle orme del non meno celebre Fraunhofer camminarono quanti nel secolo nostro si fecero un nome come costruttori di strumenti ottici; Giorgio e Ludovico Merz a Monaco; S. Plössl a Vienna; C. A. Steinheil a Monaco; Alvan e Alvan Graham Clark a Boston S. U.; Tommaso Cooke a Bishop Hill in Yorkshire; Tommaso e Sir Howard Grubb, a Dublino; i fratelli Henry a Parigi; Angelo Salmoiraghi a Milano che mantiene fra noi le tradizioni di Amici e di Porro.

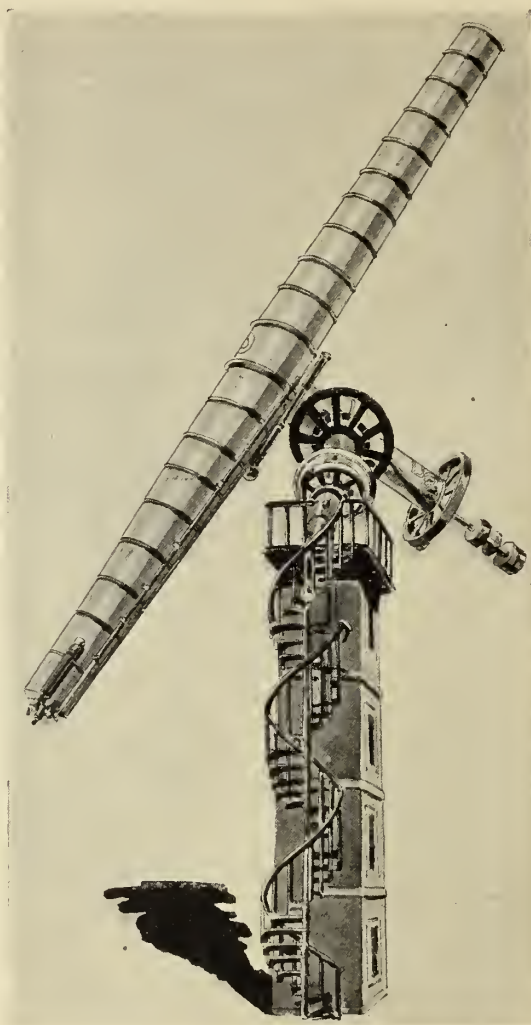
Per quel che riguarda la grandezza, nulla di specialmente notevole offrono i cannocchiali della prima metà del secolo nostro. Nel 1824 era considerato come capolavoro del tempo il cannocchiale dell' osservatorio di Dorpat con cm. 24,5 di apertura, uscito dalle mani di Fraunhofer, e per gran tempo in seguito i più grandi cannocchiali del mondo furono i due cannocchiali degli osservatorii di Pulkova e di Cambridge americana, usciti amendue nel 1835 dalle officine di Merz e aventi cm. 38 di apertura, m. 6,7 di distanza focale.

Fu solo nel 1862 che Alvan Clark costruì per l'osservatorio Dearborn di Chicago un cannocchiale alquanto maggiore, con cm. 47 di apertura, con m. 7 di distanza focale, che presto divenne famoso fra gli astronomi in grazia della scoperta fatta con esso del satellite della stella Sirio.

Ne seguì una nobile gara fra Americani ed Inglesi. Il signor Newal di Gateshead mise molte migliaia di lire sterline a disposizione di Cooke, perchè si provasse a superare le misure di Alvan Clark. Cooke riuscì nell'intento e costruì nel 1868 per l'osservatorio di Gateshead un cannocchiale dell'apertura di 63,5 cm., il cui tubo misurava m. 9, e che fu trovato eccellente sotto ogni riguardo. Appena confermato questo successo, il direttore dell'osservatorio nazionale di Washington spedì in Inghilterra una commissione di tre astronomi che esaminasse il rifrattore di Newal, e al loro ritorno in America ordinò ad Alvan Clark di sorpassare, potendo, quelle dimensioni. Questi, postosi all'opera, costruì per l'osservatorio di Washington un cannocchiale di cm. 66 d' apertura obbiettiva e m. 10 di lunghezza, cannocchiale che ultimò nel 1873, e che va oggi famoso per la scoperta dei satelliti di Marte fatta con esso; animato dal successo, un altro identico ne costrusse nel 1879 per l'osservatorio di Richmond.

Cannocchiale di Lick.

Stava in quel frattempo il governo austriaco organizzando a Vienna un nuovo e splendido osservatorio astronomico, e volle munirlo di un istrumento che per potenza ottica superasse tutti quelli fino allora noti. L'artefice Grubb ne assunse l'incarico e nel 1883 consegnò alla specola di Vienna il suo grande cannocchiale, con obbiettivo di cm. 68,5 di apertura e m. 10,5 di distanza focale. La gara a chi possedesse il più gran cannocchiale si fece allora generale, e dalla gara sorsero; il cannocchiale dell' osservatorio di Pulkova, costrutto nel 1886 in America a spese del governo russo da Alvan Clark, largo 76 cm. lungo più che 13 m.; il cannocchiale fatto costrurre dal governo francese, per l'osservatorio di Parigi, dai fratelli Henry, con cm. 73,5 di apertura e m. 15 di distanza focale; il cannocchiale costrutto ancora dagli Henry, a spese del ricco mercenate Bischoffsheim, per il suo osservatorio di Nizza, di cui l'obbiettivo ha 76 cm. di apertura, m. 18 di distanza focale; il cannocchiale dell'osser-

vatorio Lick in California, costrutto, a spese del miliardaro Lick, da Alvan Clark, con obbiettivo largo cm. 91,5, con tubo lungo m. 17,22; il cannocchiale dell'osservatorio Yerkes presso Chicago, di cui l'apertura supera il metro (1,016), la distanza focale tocca 18,9 m., uscito esso pure dalle officine di Alvan Clark, e esso pure dovuto alla liberalità di un altro miliardaro americano, il signor Yerkes; questi due ultimi i più grandi cannocchiali del mondo, a fronte dei quali appena possono chiamarsi grandi i due cannocchiali degli osservatorii di Milano e di Strasburgo costrutti da Merz, larghi cm. 48,5, lunghi 8 m.

È un crescendo non interrotto di dimensioni, a cui ne corrisponde uno anche più rapido di costo; si va dai cannocchiali di mezzo metro d'apertura, che costano centomila lire in cifra tonda, a quelli di 91,5 e di 101, 6 centimetri, dei quali il costo supera d'assai un milione di lire; si va dalle sale d'osservazione e dalle cupole giranti di 11 metri di diametro alle sale e alle cupole di metri 28. È un crescendo maraviglioso in sè e per sè, più maraviglioso ancora se si pensa all'intensità di pensiero e di moto scientifico dal quale esso nasce, alla robusta fiducia nell'avvenire e nelle scoperte della scienza alla quale esso accenna. Si comincia a sentire che oramai le sole e grandi iniziative possibili sono nelle scienze e nelle applicazioni loro.

Cannocchiale di Yerkes.

Questi grandi cannocchiali si rendono maneggevoli affidandoli a potenti meccanismi metallici, che in linguaggio tecnico chiamansi montature equatoriali; sono montature inventate in Inghilterra verso la metà del secolo scorso, perfezionate da Reichenbach in sul principio del secolo nostro, e durante questo variamente modificate, così come appare dai disegni nostri; di esse chi sa che cosa sia un teodolite può farsi facilmente un' idea adeguata, immaginando che il teodolite, meglio se a cannocchiale eccentrico, si inclini fino a che il suo asse verticale diventi parallelo all'asse del mondo, e il suo circolo orizzontale parallelo all'equatore, e immaginando che cannocchiale e teodolite assumano dimensioni molto più grandi; il cannocchiale, la montatura sua equatoriale, la sala in mezzo a cui l'uno e l'altra stanno, la cupola

girante, a ampii finestroni, che li ricopre, finiscono per formare un insieme che par venuto in terra a miracol mostrare.

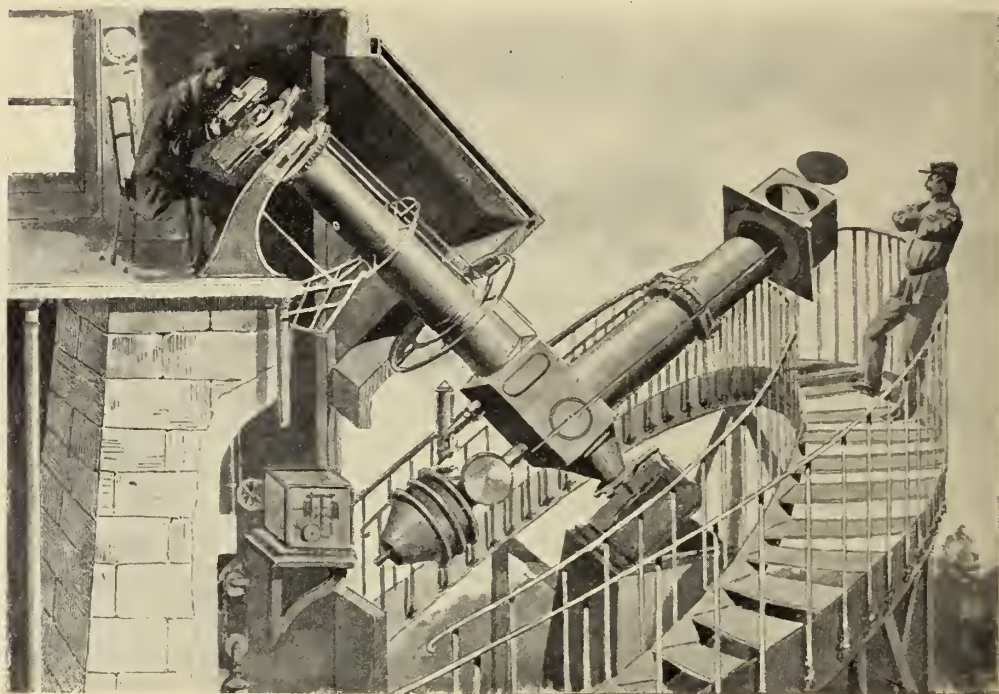
La lente crown ad esempio del cannocchiale Yerkes, oggi il più grande del mondo, ha verso il mezzo lo spessore di cm. 6,35; verso il contorno quello di cm. 1,91; pesa chilog. 90,72: della lente flint lo spessore è verso il mezzo uguale a cm. 3,81; verso il contorno a cm. 5,08; il suo peso sale a chilog. 136,07: le due lenti crown e flint insieme unite costituiscono l'obbiettivo, e sono fissate in uno stesso anello metallico, non aderenti l'una all'altra però, ma separate da un intervallo di cm. 21,27: l'obbiettivo nel suo complesso, lenti ed anello metallico, pesa 453 chilogrammi.

Il tubo rigido, che coll'obbiettivo fa parte integrante del cannocchiale, è di acciaio laminato; è lungo poco meno che 19 m.; ha nel mezzo il diametro di cm. 132,07; va rastremandosi verso i due estremi fino a prendere all'un dei capi, quello che porta l'obbiettivo, il diametro di cm. 106,68, all' altro, quello che porta l'oculare, il diamentro di cm. 96,52; il suo spessore varia da mm. 5,5 verso il mezzo a mm. 3,2 verso gli estremi; il suo peso è di 6 tonnellate.

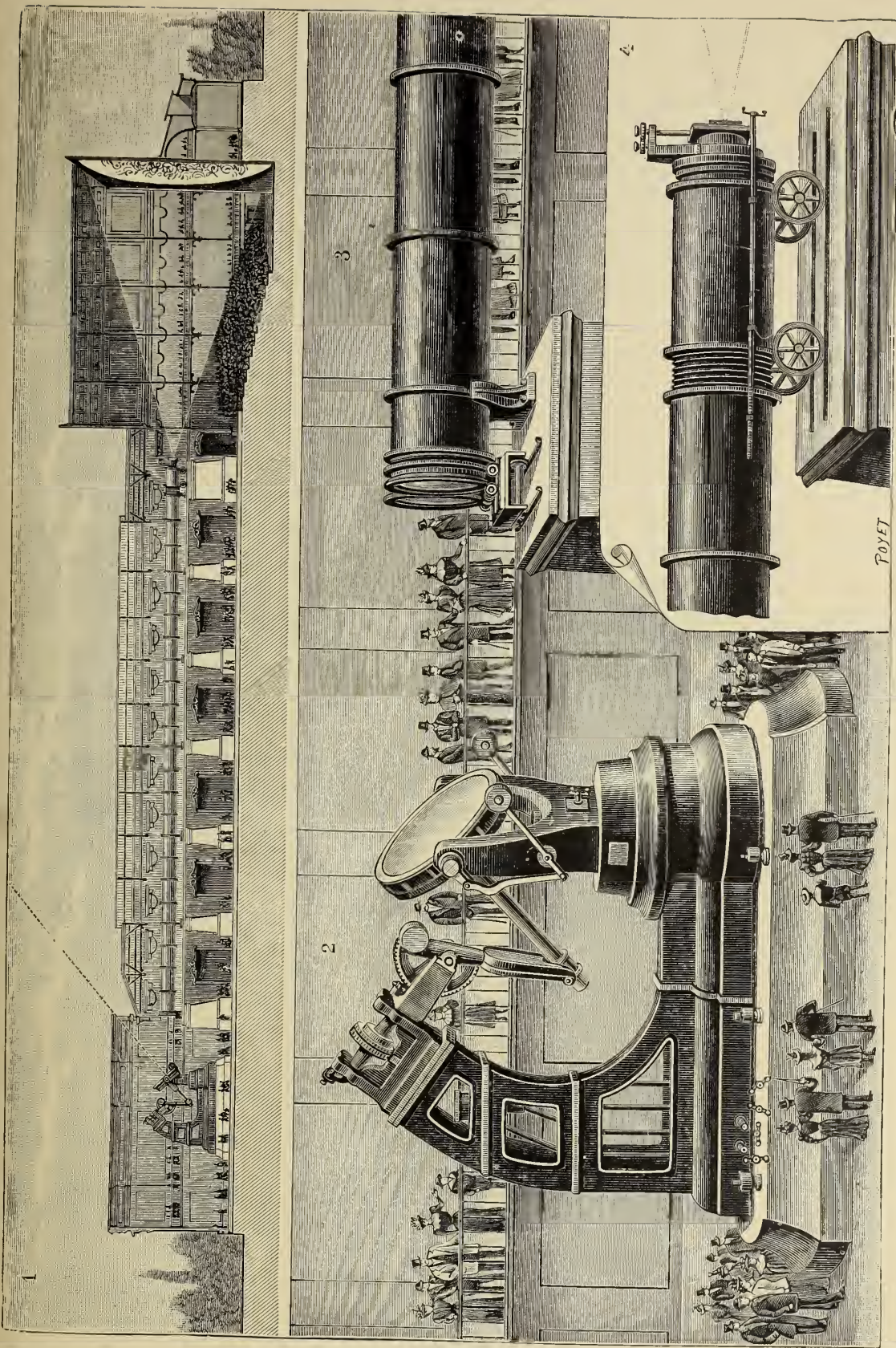
Il cannocchiale gigante è portato da una montatura equatoriale, della quale il disegno riprodotto dà una sufficiente idea complessiva e la quale permette di puntare con facilità ad una plaga qualunque del cielo. Malgrado il suo peso può essere mosso con uno sforzo minimo; è così perfettamente equilibrato, che, condotto a mano in una posizione qualunque, vi si arresta immobile; puntato ad un astro, v'è mezzo di fare che esso lo segua esattamenta nel suo moto diurno apparente, e il mezzo consiste in un robusto meccanismo di orologeria, che comunica coll'asse principale della montatura e ad esso trasmette il moto richiesto.

La robusta piramide, che porta il grande cannocchiale e le parti tutte della montatura, sorge nel mezzo di un salone circolare che ha m. 28 di diametro; attorno alla sala v'è un robusto anello cilindrico in muratura che ne forma le pareti; esso è alto m. 12 circa, e sovr'esso posa un' ampia cupola emisferica girante, muoventesi cioè, per mezzo di opportuni congegni, intorno al suo asse o raggio verticale: il pavimento del vasto salone è mobile esso pure; può essere a volontà facilmente innalzato ed abbassato, può inoltre girare in azimuto, e ciò allo scopo di portare la sedia d' osservazione, e con questa l'osservatore, all'altezza e nel punto voluti dall'astro al quale si deve puntare.

In questi grandi strumenti l'osservatore, per tenere l'occhio costantemente all'oculare, è obbligato a muoversi perpetuamente su un circolo di grande raggio, a salire e discendere sulla scala d' osservazione senza posa, facendo in tre o quattro ore un grave lavoro e un consumo notevole di energia fisica. A coprire questi grandi strumenti si richiedono cupole mobili, di molto costo, di costruzione e di manutenzione difficili; nè, per la natura stessa della montatura, di cui le parti essenziali hanno posizioni oblique rispetto al filo a piombo e all'orizzonte, la stabilità dei nostri equatoriali è grande; non è possibile misurare con sicurezza, per mezzo dei medesimi, direttamente angoli maggiori di 20 minuti primi d'arco in declinazione, e di alcuni pochi minuti di tempo in ascension retta.

Maurizio Loewy, direttore dell'osservatorio astronomico di Parigi, cercò di dare agli strumenti equatoriali una più grande stabilità, e ideò una nuova disposizione delle parti loro che permette all'astronomo di rimanere durante l'osservazione sempre in un medesimo posto, ed elimina ad un tempo l'uso di grandi e costose cupole. In questa nuova disposizione il solito cannocchiale viene sostituito da un cannocchiale spezzato od a gomito, formato cioè da due tubi ad angolo retto fra di loro. L' uno dei tubi, quello che porta l'oculare, ha l'asse suo coincidente coll'asse del mondo, e può rotare liberamente intorno a sè stesso; l'altro, al primo perpendicolare, porta l'obbiettivo, e il suo asse si muove naturalmente in un piano parallelo a quello dell'equa-

Strumento equatoriale con cannocchiale spezzato.

tore. All'estremità superiore di questo secondo tubo vi è uno specchio; un altro specchio è collocato nell'interno del cannocchiale, là dove i due tubi si incontrano, ed amendue gli specchi sono inclinati di un angolo di 45 gradi rispetto all'asse dello strumento. Questi due specchi hanno per iscopo di riflettere l'uno verso l'altro e finalmente verso l'osservatore, seduto immutabilmente all'oculare del cannocchiale, la luce che emana dall' astro che si sta osservando.

Senza dubbio l'aumento di stabilità, l'abolizione della grande cupola mobile sostituita da una di più piccole dimensioni e di costruzione più semplice, la posizione immutabile dell'osservatore, sono grandi vantaggi; ma l'esistenza dei due specchi, le due riflessioni della luce sui medesimi sollevano nel mondo astronomico non poca diffidenza verso la nuova forma di equatoriale, e mentre, negli strumenti trasportabili e nei piccoli meridiani, molti sono gli esempi di

Grande cannocchiale dell' Esposizione di Parigi.
1. Veduta d' insieme — 2. Il siderostato — 3. Il cannocchiale — L' oculare.

cannocchiali a gomito, non credo che altro equatoriale con cannocchiale spezzato siasi, dopo quello di Parigi avente 27 cm. di apertura, costruito.

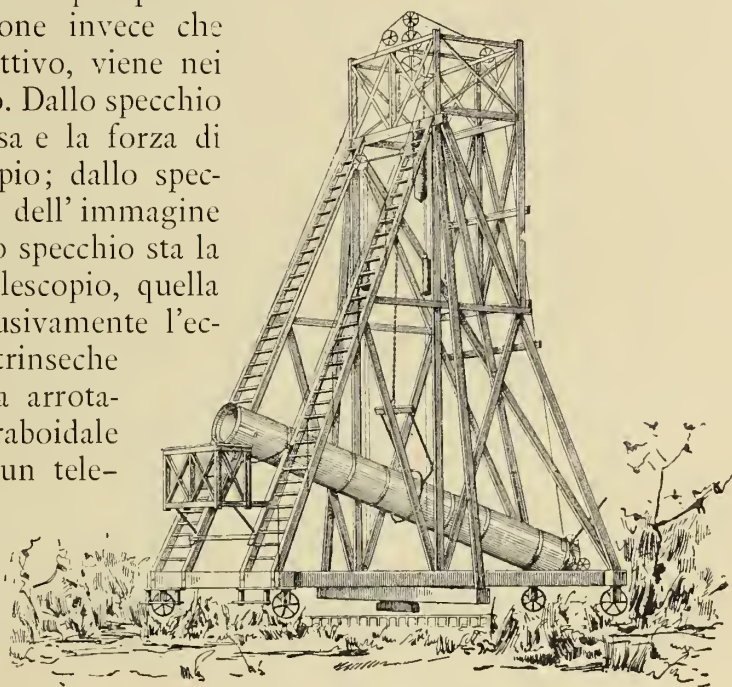
Interamente diverso dai precedenti nella disposizione generale delle sue parti è il cannocchiale gigante, che si sta costruendo per l'Esposizione di Parigi nel 1900. Per esso si ricorse ad un'idea, che già aveva avuto nel 1674 R. Hooke per rendere meglio maneggevoli i lunghi cannocchiali del tempo suo, alcuni dei quali misuravano m. 33 e più, all' idea cioè di tenere il tubo del cannocchiale in una posizione orizzontale e fissa, e di porre di fronte all'obbiettivo suo uno specchio piano mobile, siderostato, che riflette verso l' obbiettivo e lungo la direzione dell'asse del cannocchiale la luce e le immagini degli astri.

Questo grande cannocchiale dell'Esposizione di Parigi, dal punto di vista astronomico, è tuttora uno scrigno chiuso, del quale non si sa se sia pieno d'oro o d'orpello, pure era già celebre prima di nascere, grazie al rumore che con abilità somma si seppe fare attorno ad esso. Il suo obbiettivo avrà il diametro di m. 1, 25, la distanza focale di 60 m., e peserà col relativo telaio 900 chilogr.; il suo tubo cilindrico, di lamiera d'acciaio, del diametro di m. 1, 50, sarà composto di 24 pezzi, lunghi ciascuno m. 2, 40, collegati fra loro con bulloni, e peserà complessivamente 21 tonnellate; il suo oculare, portato da un pezzo di tubo simile agli altri di cui si compone il cannocchiale, provvisto di quattro ruote scorrevoli su due rotaie in direzione dell'asse del cannocchiale, si congiungerà a questo mediante un mantice; lo specchio di vetro del siderostato suo avrà il diametro di m. 2, la grossezza di cm. 27 e, da solo, peserà 3600 chilog.; unito al proprio telaio di acciaio fuso, ne peserà 6700.

V' è ragione di credere che questo cannocchiale *fin de siècle* riescirà di rara perfezione, e del medesimo si disse che avrebbe fatta vedere la luna come se fosse portata alla distanza di un metro. È questa una iperbolica fiaba, la quale mostra quanto la *réclame* e il giornalismo possano ancora fare a fidanza colla credulità del pubblico. Nessuno sa quali risultati il grande cannocchiale, sopratutto coll'atmosfera di Parigi, potrà dare; ammesso però che al medesimo possa ancora con vantaggio applicarsi un ingrandimento uguale a 6000, la luna si vedrebbe, attraverso ad esso, sotto quella grandezza apparente che avrebbe non ad un metro, ma a 60 chilometri circa di distanza.

VII.

I telescopi: Loro parti integranti — Specchio — Oculare — Specchi metallici — Specchi di vetro — Grandi telescopi di Rosse, di Lassel, di Foucault — Martia, di Grubb — Paragone dei cannocchiali e dei telescopi.

Nei telescopi le due parti integranti sono lo specchio e l'oculare; quello è concavo e paraboidale, riflette la luce che sovr'esso cade, e di un oggetto lontano produce nel proprio piano focale un'immagine reale; questo è una lente complessa convergente, e l'osservatore, guardando attraverso ad esso l'immagine lucida prodotta dallo specchio, la vede ingrandita alla distanza della visione distinta. La funzione e la forma dell'oculare sono quindi le stesse tanto nel telescopio quanto nel cannocchiale; la funzione invece che nei cannocchiali fa l'obbiettivo, viene nei telescopi fatta dallo specchio. Dallo specchio dipende la potenza luminosa e la forza di penetrazione di un telescopio; dallo specchio dipendono le qualità dell' immagine data da un telescopio; nello specchio sta la parte essenziale di ogni telescopio, quella da cui ne nasce quasi esclusivamente l'eccellenza. Nelle qualità intrinseche dello specchio, nella esatta arrotatura della superficie sua paraboidale sta il carattere che rende un telescopio più o meno degno d'essere detto buono; dalla dimensione dello specchio deriva ad un telescopio maggiore o minor potenza luminosa, maggiore o minor forza di penetrazione, e quindi il carattere che lo fa chiamare più o meno grande.

Telescopio del conte di Rosse.

Fino al 1860 gli specchi dei telescopi furono esclusivamente metallici, e formati preferibilmente da una lega composta di quattro parti di rame e di una di zinco. Il rame riflette i raggi meno rifrangibili, i rossi ad esempio, in assai maggior quantità che non quelli di color diverso; lo zinco riflette invece i raggi violacei in quantità maggiore che non i rossi; una lega di rame e di zinco nelle proporzioni indicate lascia sperare uno specchio, il quale rifletta tutti i colori diversi in uguale misura.

Non è facile cosa l'arrotare questi specchi, in causa sovratutto della loro forma paraboidale; ciò non di meno ben presto si riuscì in Inghilterra a fabbricarne di molto grandi. Guglielmo Herschel astronomo sommo e ad un tempo costruttore apprezzatissimo di centinaia di telescopi, dopo averne fabbricati molti con specchi di cm. 46 e di cm. 61 di diametro, di m. 6 e di

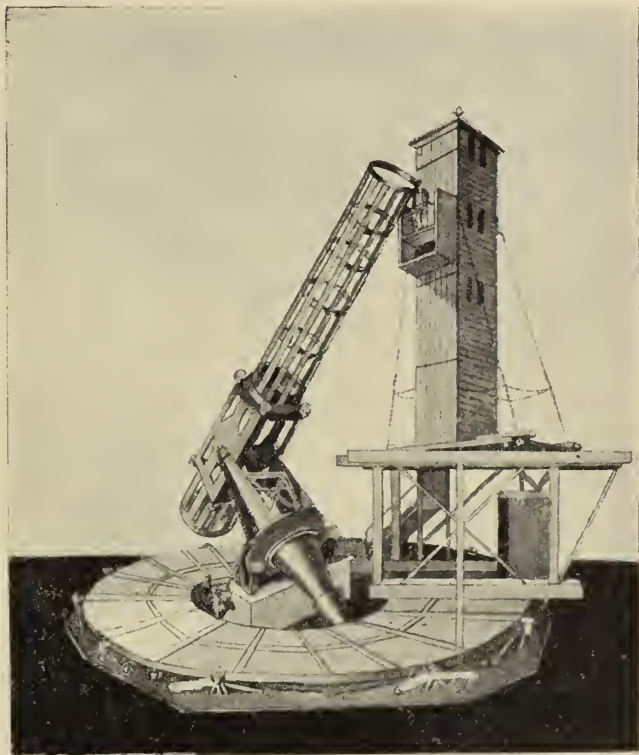
m. 7, 5 di distanza focale, ne ultimò nel 1781 uno il di cui specchio aveva cm. 91 di diametro e m. 9 di distanza focale, e nel 1789, grazie alla liberalità di re Giorgio III, potè compiere il più grande dei telescopi suoi con specchio di cm. 126, quattro piedi inglesi circa di diametro e m. 12 di distanza focale. Nel secolo nostro il conte di Rosse, pari d'Irlanda, appassionato costruttore di telescopi, dopo vent'anni di lavoro, riuscì nel 1845 ad ultimare a Birr-Castle presso Parsonstown il suo celebre telescopio Leviathan, il più grande degli esistenti, con specchio metallico di sei piedi inglesi, cm. 183, di diametro e di m. 16 di distanza focale, spendendovi attorno 300 e più mila lire. Pochi anni più tardi, fra il 1850 e il 1860, Guglielmo Lassell, ricco fab

Grande telescopio Leviathan.

bricante di birra a Starfield presso Liverpool e per isvago astronomo dilettante di molto valore, si costruì per un telescopio, divenuto poi famoso in causa delle scoperte con esso fatte nell'isola di Malta, uno specchio di quattro piedi inglesi, cm. 122, di diametro e di m. 11, 25 di distanza focale; nè passò molto tempo che uno specchio grande, di dimensioni identiche a quello di Lassell e di distanza focale uguale a m. 9, 75, venne dal rinomato artefice Grubb di Dublino ultimato nel 1867 per l'osservatorio astronomico di Melbourne in Australia.

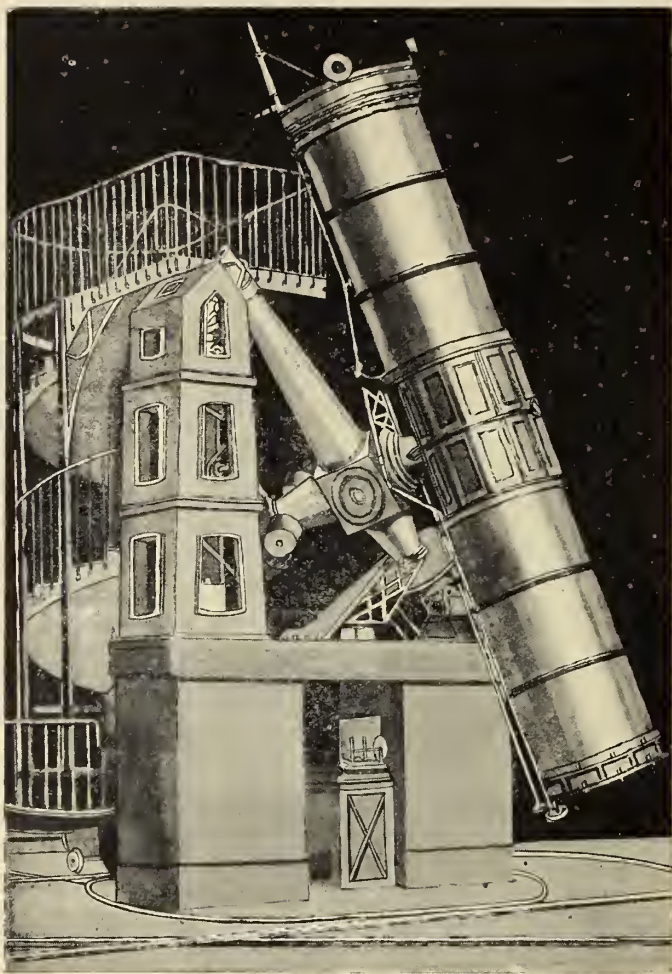
Verso il 1860 G. B. L. Foucault fu condotto, da una lunga serie di tentativi, alla costruzione di grandi specchi paraboidali di vetro, inargentati con processo chimico speciale. Telescopi con riflettori di vetro aventi successivamente 20, 25, 40 centimetri di raggio, e distanze focali lunghe appena sei volte il loro diametro, furono da lui ultimati e posti in opera negli osservatorii francesi; un blocco di vetro fu per lui fuso pesante 700 chilogr., e destinato

ad un riflettore di m. 1, 20 di diametro, il più grande che col proprio metodo egli credeva di poter costruire. Non gli riuscì di ultimarlo, ma l'ultimò in luogo suo A. A. Martin, che egli stesso aveva iniziato ai segreti della propria industria ottica, ed il grande specchio fa oggi parte del telescopio ultimato nel 1876 a Parigi e posto in opera a quell'osservatorio nazionale.

Gli specchi di vetro sono sotto qualche punto di vista preferibili ai metallici, e sono anche oggi adottati, fatta la sola eccezione di Grubb, dai principali costruttori di telescopi, Browning, Horwe eThorntwait, Calver, Fritsch, Martin. Uno specchio di vetro riflette gli otto decimi della luce incidente, quasi il doppio di quella riflessa da uno di metallo; uno specchio di vetro può essere facilmente, trascorso un certo numero d'anni, inargentato di nuovo, mentre il ridonare la lucentezza speculare ad uno di metallo è operazione costosa e difficile; uno specchio di vetro pesa molto meno che uno di metallo, e la fusione sua è oggimai relativamente facile. Nella vetreria di Jeumont venne fuso lo specchio di due metri di diametro, destinato al siderostato annesso al gran cannocchiale dell' Esposizione di Parigi; la ditta St. Gobain già si offrì nel 1896 di fondere un disco di vetro per specchio telescopico di cm. 220 di apertura; nè da pratici competenti si ritengono insuperabili le difficoltà che presenta la fusione della massa vitrea necessaria ad uno specchio telescopico di m. 3 di diametro.

Grande telescopio di Lassel.

Sieno poi di metallo o di vetro, gli specchi paraboidali hanno il grande vantaggio di riunire esattamente in uno stesso ed unico piano focale tutte le lunghezze d'onda luminosa, dall'estremo infra-rosso all'ultimo limite dell'ultra-violaceo, cosa che le lenti, anche dopo il perfezionamento portato alla costruzione loro verso la metà del secolo scorso dal celebre ottico Dollond, riescono a fare solo entro certi limiti. Il costo di uno specchio è molto più piccolo di quello d'una lente d'ugual apertura, una sola essendo negli specchi la superficie che si deve arrotare; uno specchio, ad esempio, di 36 pollici inglesi di diametro, cm. 91, 5, non costa di più che 50 000 lire, e l' obbiettivo Lick dello stesso diametro ne costò 1 250 000. La distanza focale principale di uno specchio può facilmente ridursi alla quarta parte di quella d'una lente di ugual diametro, e con ciò la lunghezza del tubo, le spese di montatura e

di collocamento sono per un telescopio incomparabilmente minori che per un cannocchiale.

Negli specchi concavi paraboidali l'immagine dell' astro si forma in un piano che giace fra l'astro e lo specchio, cosicchè supposto lo specchio collocato all'estremità inferiore di un lungo tubo, se si rivolge e tubo e specchio ad un astro, l'immagine di questo viene a formarsi in alto verso l'estremità superiore del tubo. A guardare quest'imagine si ricorre in generale ad un secondo e piccolo specchio il quale vien collocato nel piano focale del grande specchio e riflette per conseguenza l'immagine, da questo prodotta, verso il sistema oculare; si ricorre in generale, perchè di rado adottasi la disposizione di Guglielmo Herschel, il quale nei suoi telescopi, detti a visione frontale, usa far senza del secondo specchietto, e guarda direttamente l'immagine prodotta dallo specchio grande, collocando a fianco di questo l'oculare e l'occhio.

Grande telescopio di Foncault-Martin a Parigi.

Nei telescopi di Rosse, di Lassell, di Foucault-Martin trovasi verso l'estremo superiore del tubo uno specchietto piano, inclinato di 45 gradi rispetto all'asse del tubo stesso, e a fianco suo sulla parete del tubo trovasi il sistema oculare. Essi formano quindi nel loro insieme dei giganteschi rifettori Newtoniani, e in essi lo astronomo, dovendo per metter l' occhio all' oculare trovarsi verso l'estremo più alto del telescopio, si colloca sopra un balconetto mobile portato da una torre o di legno o di ferro.

Nel telescopio di Melbourne lo specchio, collocato all'estremità inferiore di un lungo tubo, porta, così come tutti gli specchi dei telescopi costrutti secondo il sistema di Gregory o di Cassegrain, un'apertura circolare verso il suo mezzo. A questa apertura è adattato il sistema oculare, attraverso al quale l'osservatore vede le immagini degli oggetti celesti riflesse prima dal grande specchio, poi da un secondo piccolo specchio collocato nel tubo del telescopio

verso l'estremità sua superiore, di fronte allo specchio maggiore. Questa disposizione adottata da Grubb obbliga a praticare un foro presso al vertice del grande specchio, inconveniente grave che la disposizione Newtoniana non presenta, ma permette tubi di una lunghezza inferiore a quella voluta da tutte le altre disposizioni, permette all'osservatore di usare del telescopio così come si fa di un cannocchiale, e permette infine al meccanico di montare facilmente il telescopio così come si usa coi cannocchiali rifrattori.

Grande telescopio di Grubb a Melbourne.

La montatura difatti adottata pel telescopio di Melbourne è la equatoriale, analoga a quella ideata da Fraunhofer per i suoi rifrattori; essa permette di dare al telescopio tutti i movimenti possibili, di rivolgere il medesimo ad ogni plaga del cielo, ed, adagiato com'esso è sopra un roteggio di orologeria opportunamente combinato, segue automaticamente ogni astro del cielo, al quale sia stato rivolto. Anche i telescopi di Lassell e di Foucault-Martin hanno montature equatoriali, ma la disposizione newtoniana delle parti loro rese necessarie montature più voluminose e complesse di quella costruita da Grubb. La montatura adottata pel suo Leviathan dal conte di Rosse è, come quella di tutti i telescopi del secolo scorso e della prima metà del nostro, la alt-azimutale, analoga a quella dei teodoliti degli ingegneri, e in essa l'intera macchina si muove intorno a due assi, verticale l' uno, orizzontale l' altro.

Finchè telescopi e cannocchiali conservano dimensioni modeste, si ammette universalmente che la potenza ottica dei secondi sia relativamente superiore a quella dei primi, e che debbasi sempre dare la preferenza ai cannocchiali. L' esperienza ha dimostrato: che, per quanto riguarda la visibilità di piccole stelle, il rifrattore di Dorpat di cm. 24, 5 d'apertura rivaleggia per-

fettamente col riflettore di Herschel di 46 cm. di diametro: che riflettori di cm. 23, 0 — di cm. 16, 5 — di cm. 11, 5 di diametro appena equivalgono a rifrattori dei quali le aperture sieno rispettivamente uguali a cm. 20, 3 — a cm. 13, 5 — a cm. 10, 0: che in generale le aperture di telescopi e di cannocchiali di ugual potenza luminosa stanno fra di loro, secondo alcuni, come i numeri 8 e 5, secondo altri, come i numeri 7 e 5.

Non appena però si raggiungono le grandi dimensioni de' cannocchiali moderni, nascono inconvenienti dai quali non è possibile far astrazione.

Una parte della luce, che cade sopra l'obbiettivo di un cannocchiale, va perduta, e perchè riflessa dalle sue superfici, e perchè assorbita dalla sua massa vitrea; la luce trasmessa da un obbiettivo, rispetto alla luce che sovr' esso cade, diminuisce sempre più quanto più ne crescono le dimensioni, perchè colle dimensioni di una lente cresce di conserva il suo spessore, e perchè quanto si guadagna in larghezza tanto si perde in trasparenza. L'astronomo H. C. Vogel, direttore dell' osservatorio astrofisico di Potsdam, riuscì, con esperienze d'una tecnica squisitissima, a determinare la quantità di luce che va perduta attraverso ad obbiettivi di diverso diametro e di vario spessore, sia quando della luce si considerano a preferenza i raggi ottici, sia quando se ne considerano i raggi attinici. Egli prese in esame obbiettivi che da cm. 4 di spessore e cm. 28 di apertura salgono via via fino allo spessore ed all'apertura espresse rispettivamente dai numeri 40 e 280, e dimostrò, ad esempio, che attraverso ad un obbiettivo di 80 cm. d'apertura e di 12 cm. di spessore va perduto il 51 per 100 dei raggi attinici incidenti, sicchè l' intensità della luce che attraversa la lente sta a quella che sovr'essa cade come 49 sta a 100; dimostrò ancora che, se si paragona un obbiettivo come quello appena considerato con un altro largo cm. 34, 4 spesso cm. 5, le immagini delle stelle prodotte al fuoco del primo sono quattro volte più splendenti che quelle prodotte al fuoco del secondo, sicchè il primo si spinge fino a stelle per una grandezza e mezza più piccole che non le stelle alle quali si spinge il secondo; dimostrò infine che se si paragona l'obbiettivo stesso di 80 cm. di diametro e 12 cm. di spessore con altro maggiore, ed avente m. 1, 0 di apertura cm. 15 di spessore, gli splendori delle immagini stellari rispettive stanno come 1 sta a 1, 4 ossia che le ultime stelle visibili col cannocchiale largo un metro superano di tre decime parti soltanto di grandezza le ultime stelle visibili col cannocchiale di cm. 80 di apertura.

Nelle ricerche astrofisiche il cannocchiale, anche astrazion fatta dall'assorbimento della luce proprio del suo obbiettivo, presenta alcuni altri inconvenienti insormontabili.

L'acromatismo di un cannocchiale, checchè dicasi e facciasi, non è mai perfetto. Diverse sono le distanze focali che in un cannocchiale corrispondono all'una e all'altra riga di Fraunhofer, e questo fa sì che nelle ricerche spettrografiche, dovendosi portare la fessura dello spettroscopio nel piano focale esatto della riga che vuole esaminarsi, bisogna con disagio spostare continuamente di quantità sensibili lo spettroscopio stesso.

L'assorbimento delle lenti di un cannocchiale, qualunque ne sia la qualità del vetro, è elettivo ed è maggiore per la parte ultraviolacea dello spettro,

chimicamente la più efficace, e questo rende impossibile, ad esempio, fotografare con un cannocchiale una parte considerevole dello spettro delle stelle.

Le lenti diventano meno e meno trasparenti quanto più si considerano raggi di maggior lunghezza d'onda, e per i raggi dell'estremo infra-rosso dello spettro esse sono addirittura opache: ciò rende il cannocchiale inatto a non poche osservazioni radiometriche e alle bolometriche.

Questi inconvenienti gravi di un cannocchiale, gravissimi nell'astrofisica, portano la più gran parte dei cultori di questo ramo dell'astronomia a pensare che, oltre certe dimensioni già raggiunte, convenga oramai abbandonare i cannocchiali e ricorrere ai telescopi, i quali oltre a presentare altri vantaggi peculiari, dagli inconvenienti stessi vanno esenti. Nei telescopi vengono riunite esattamente in uno stesso e unico piano focale tutte le lunghezze d'onda luminosa, e, quando l'apertura cresce oltre un certo limite, la perdita di luce in un telescopio è molto più piccola di quella che in un cannocchiale. Attraverso ad un cannocchiale di cm. 280 d'apertura e di cm. 40 di spessore, l'intensità della luce trasmessa sarebbe appena i 15 centesimi della incidente; in un telescopio di ugual dimensione la luce riflessa ed utilizzabile sarebbe ancora i 48 centesimi della incidente.

VIII.

Fotografia celeste, strumenti astrofotografici: Difficoltà della fotografia astronomica — Mobilità degli astri — Piccole dimensioni e contorni indeterminati delle ordinarie immagini fotografiche — Foto-eliografi — Telescopi o cannocchiali fissi con eliostato — Acromatismo delle lenti destinate alla fotografia astronomica — Lenti otticamente oppure chimicamente acromatiche — Perfezionamenti successivi dei procedimenti fotografici — Lastre umide a collodio — Lastre secche a gelatina bromuro di argento — Inalterabilità della pellicola sensibile e delle lastre fotografiche — Precisione delle misure che su queste lastre si possono eseguire — Strumento per le misure stesse — Astro-foto-eliografi — Strumenti equatoriali fotografici — Paragone dell'occhio umano e della lastra fotografica sensibile.

Fotografia e astronomia: non si possono immaginare due cose più diverse, due parole che chiamino la mente sopra due ordini più lontani di idee.

L'astronomia, la più antica delle scienze, orgoglio dei sacerdoti Caldei ed Egizii, oggetto delle speculazioni di tutti i filosofi greci, ancora oggi occupazione prediletta di poche intelligenze appassionate, ama svolgersi nella più tranquilla solitudine. Modesta o superba che essa sia, schiva le moltitudini, alle quali non domanda ispirazione, incitamento od approvazione. Cammina inosservata a capo di tutte le scienze, intenta allo studio dei grandi fatti naturali, sottrae l'ingegno umano alle speculazioni astratte delle antiche scuole, compie la più efficace rivoluzione, che ricordi la storia delle scienze, sostituisce il metodo sperimentale allo speculativo, getta le basi del commercio e della ricchezza moderna, guida con norme sicure e inalterabili le navi attraverso l' oceano, studia e inventa la cronologia moderna, dirige le indagini storiche attraverso la confusione delle cronologie antiche, dà ordine e chiarezza alla narrazione degli avvenimenti umani a noi più vicini, e intanto, con un sorriso misto di bonarietà e di fine ironia, qualche volta si sofferma ad ascol-

tare la gente, che domanda a sè stessa la ragione e lo scopo della sua esistenza.

La fotografia invece, il più moderno fra i trovati dell'ingegno umano, non è scienza, non è arte; tocca alla scienza per la sua origine, per i principii e per i metodi suoi; tocca all'arte per le applicazioni sue. È fra le invenzioni del nostro tempo la più popolare; vive in mezzo alle moltitudini, ad esse deve il suo rapido incremento, ad esse distribuisce i suoi prodotti, in esse cerca il suo punto d'appoggio.

Fotografia ed astronomia hanno un solo punto comune, la luce. È la luce, che rivela all' occhio dell' astronomo gli astri del cielo e i loro movimenti; è la luce che segna sulla lastra sensibile del fotografo, quasi bulino infallibile, i lineamenti di un volto, i contorni di un paesaggio, i complicati ordigni di un meccanismo, ma molti e gravi problemi preliminari bisognava risolvere prima che i corpi celesti, dai quali tanta luce emana, incidessero in modo utile alle ricerche scientifiche le proprie immagini sulle lastre fotografiche. Morirono rispettivamente nel 1833 e nel 1851 G. N. Niepce e L. G. Daguerre i due inventori della fotografia; risale al 1839 la scoperta della sottilissima pellicola di ioduro d'argento che Daguerre primo seppe generare alla superficie delle sue lastre, sensibili peranco alla pallida luce lunare, ed in meno di 60 anni la chimica, l'ottica, la meccanica, l'astronomia insieme riunite seppero, con invenzioni geniali, utilizzando le risorse man mano crescenti delle scienze e delle industrie, creare e portare a perfezione una scienza nuova intermedia, l'astronomia fotografica, la quale della fotografia si vale non solo per rappresentare graficamente e fedelmente i corpi tutti del cielo, ma per indagare i problemi astronomici e cosmici più complessi.

La prima difficoltà che in tale indirizzo di ricerche si ebbe a superare, proviene dall'estrema mobilità degli astri in generale. La grande luce del sole basta a produrre l'immagine fotografica solare con un'azione istantanea, che duri appena un centesimo di minuto secondo di tempo, nè per fotografare il sole occorre preoccuparsi del suo movimento proprio; ma per la luna, per i pianeti, per le stelle, per le nebulose, il loro cambiamento continuo di posto costituisce un grave ostacolo, condizione indispensabile a qualunque fotografia essendo l'immobilità e la fissità dell'oggetto che si vuol riprodurre per tutto il tempo per cui durar deve la posa. Per fortuna l'astronomia già dal principio del secolo nostro inventati aveva i mezzi necessari a superare questo ostacolo, e a dare, per mezzo di un meccanismo quasi d'orologeria, alla lente, oppure allo specchio, che raccoglie i raggi luminosi partiti da un astro, un movimento analogo e sincrono a quello dell' astro stesso, sicchè e lente e specchio e astro movendosi di conserva l' immagine dell' astro rimanga per lungo tempo fissa nel fuoco della lente o dello specchio.

La seconda difficoltà che la fotografia celeste ebbe a superare, proviene da ciò che l'astronomia vuole osservazioni e misure, e che per soddisfare alle esigenze rigorose della scienza le immagini date dalla fotografia devono avere non più la sfumatura e la grazia di un contorno artistico, ma la precisione netta e cruda di un contorno geometrico, devono avere dimensioni e caratteri tali, che su di esse l'astronomo possa vedere quello, a cui l'occhio anche

armato di potente telescopio non arriva per ragioni fisiologiche od altro, e possa fare misure, pari in precisione, a quelle per altra via ottenibili.

È questa una difficoltà d'ordine complesso e che fu superata solo a gradi a gradi.

Anzitutto non basta fotografare la piccola immagine dell'astro che si forma al fuoco di una lente ordinaria oppure di uno specchio, ridurre poi la medesima a dimensioni maggiori, e sui successivi ingrandimenti suoi eseguire le misure. Collo ampliarsi dell'immagine fotografica si ampliano ad un tempo i difetti proprii della fotografia, nè le misure prese su immagini successivamente ingrandite coi procedimenti proprii del fotografo possono ispirare all'astronomo fiducia sufficiente. A riuscire precise, le misure devono essere fatte sull'immagine direttamente incisa dai raggi luminosi sulla lastra sensibile, e poichè la precisione vuole ad un tempo, che queste misure sieno eseguite su immagini sufficientemente grandi, necessità volle che nella fotografia celeste si ricorresse ad una disposizione ottica tale che portasse sulla lastra fotografica un'immagine dell'astro di dimensioni sufficienti.

Telescopio newtoniano per fotografie solari.

A raggiungere questo scopo si seguirono dapprincipio due vie diverse, a seconda anche degli astri che si volevano fotografare.

Per il sole specialmente si impiegò una lente od uno specchio di breve distanza focale, e si ampliò l'immagine necessariamente piccola formantesi al loro fuoco, facendo che i raggi, da questa immagine emanati, attraversassero un apparato ottico di ingrandimento, prima di arrivare alla lastra sensibile. Si ebbero per tal via gli strumenti detti foto-eliografi divenuti celebri nelle mani di Warren de la Rue all'Osservatorio di Kew, e oggi ancora usati in molti osservatorii, strumenti i quali hanno il vantaggio di essere corti, relativamente leggeri, facilmente maneggiabili, ma i quali lasciano dubitare che in essi l'apparecchio ottico di ampliamento dell'immagine obbiettiva non deformi in qualche modo l'immagine fotografica ingrandita.

Per i pianeti, per gli astri in generale, ed in alcuni casi speciali anche per il sole si ricorse invece ad una lente e preferibilmente ad uno specchio di tale distanza focale da dare senz'altro nel proprio fuoco e sulla lastra sensibile un'immagine avente le dimensioni richieste. Nasce in questo caso l'inconveniente che l'insieme dello strumento diventa pesante e prende dimensioni grandi le quali ne rendono difficilissimo il maneggio, e ad evitarlo si adottò il partito di mantenere la lente o lo specchio e tutto l'apparecchio che ne dipende in una posizione fissa ed immutabile, e di collocare loro di fronte uno specchio piano, eliostato, siderostato, che, mosso da un opportuno congegno, rifletta continuamente l'immagine del corpo celeste nella direzione voluta dalla posizione fissa della grande lente o del grande specchio. Tale fu ad esempio la disposizione adottata dagli astronomi americani e francesi per l'osservazione fotografica dei passaggi di Venere sul sole avvenuto negli anni 1874 e 1882.

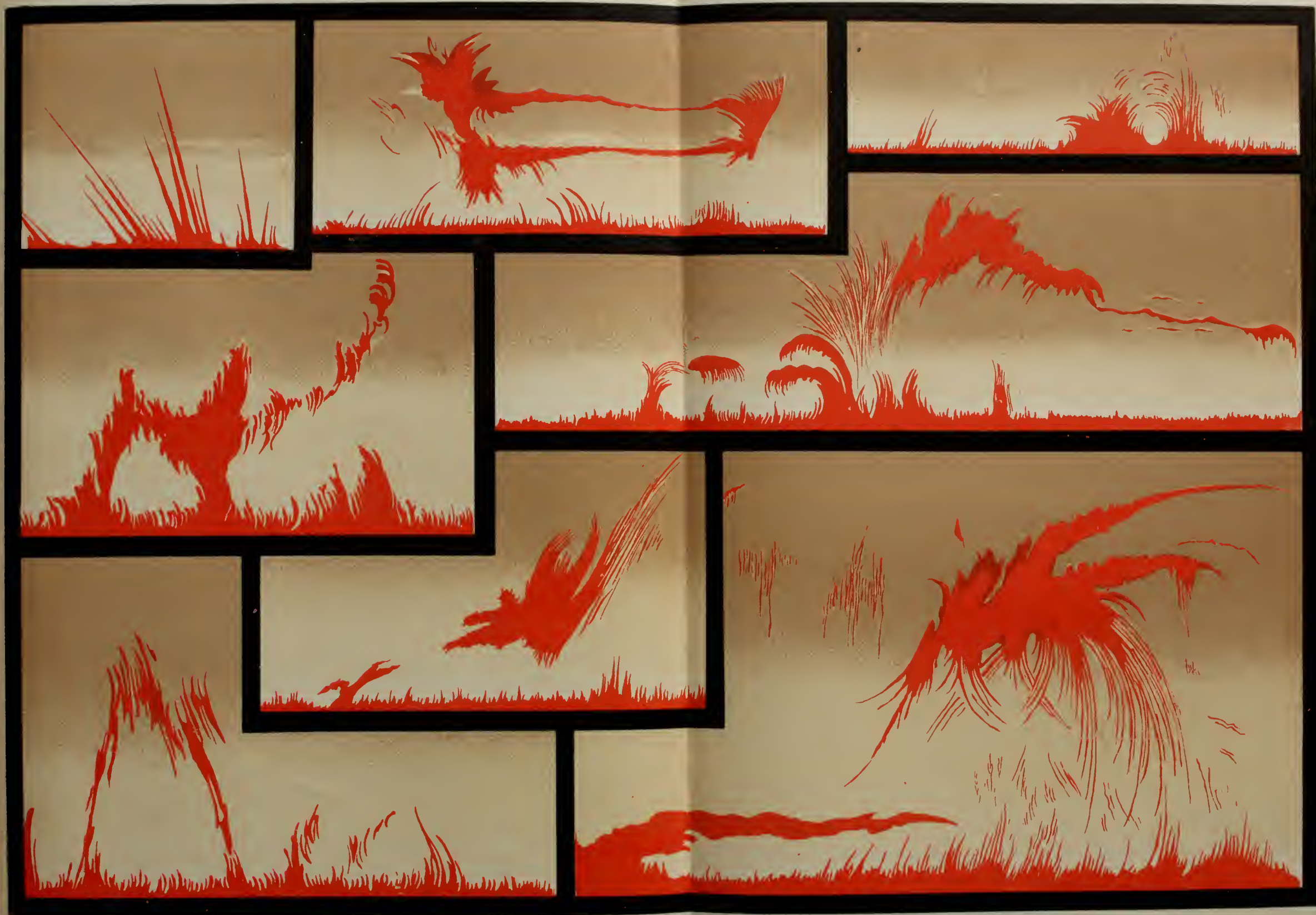
Foto-eliografo di Kcok.

Qualunque partito si adottasse, si scegliesse il foto-eliografo oppure il tubo ottico fisso con eliostato, l'esperienza dimostrò ben tosto che nella fotografia celeste poco profittar si poteva dei cannocchiali soliti e delle ordinarie lenti loro.

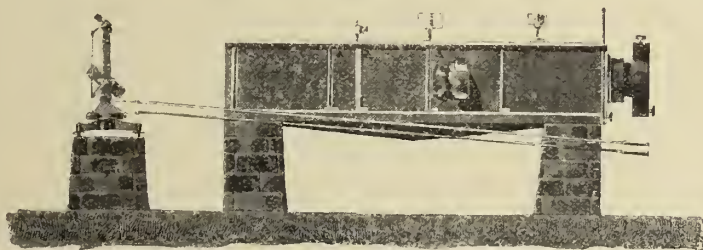
Un raggio di luce che attraversa un semplice prisma di vetro si decompone nei colori diversi dello spettro. Questo è universalmente noto. Per poter usare con vantaggio delle lenti rifrangenti, fu necessario studiare il modo di scolorare le immagini formantisi al loro fuoco, fu necessaria la scoperta dell'acromatismo fatta da Dollond. Senza di questa sarebbe stato impossibile ottenere per mezzo di un vetro rifrangente l'immagine scolorata precisa dei contorni di un oggetto; gli strumenti ottici sarebbero ancora per intero basati sui principi della riflessione, la quale non decompone la luce, nè il rifrattore avrebbe mai preso il posto del telescopio.

Ora l'acromatismo, necessario alla precisione dell'immagine, non è lo stesso per l'immagine luminosa e per la fotografica. Per ottenere un'immagine otti-

Stab. Dr. F. Vallardi

PROTUBERANZE SOLARI DISEGNATE DAL VERO.

camente precisa, bisogna cercare di riunire, di fondere quasi insieme tutti i raggi diversamente colorati dello spettro, ma più specialmente quelli che fanno sull'occhio un'impressione più viva, e che partono dalla regione dello spettro colorata in giallo. La precisione della immagine fotografica richiede invece che insieme sieno riuniti quei raggi che emanano dalla regione dello spettro dotata di maggior potenza chimica, che agiscono sulla lastra sensibile con efficacia maggiore, e che appartengono alla zona spettrale colorata in violaceo, limitata dalle righe G ed H di Fraunhofer.

Le lenti ordinarie non possono quindi essere senz'altro applicate alla fotografia celeste, e se ciò succede nella fotografia ordinaria, egli è che in questa non si dà all'immagine fotografica tutta la precisione di cui è suscettibile, e più si cura la precisione dell'immagine ottica, la quale rende facile al fotografo il mettere coll'occhio la lente al giusto punto, e dà inoltre all'immagine fotografica una indeterminatezza di contorni, una certa sfumatura preziosa specialmente nei ritratti.

Nella fotografia celeste, si voglia usare un foto-eliografo, oppure un cannocchiale di lunga distanza focale, bisogna costrurre nel primo caso l'appa-

Telescopio fisso con eliostato.

recchio ottico destinato ad ampliare l'immagine data dall'obbiettivo, nel secondo caso costrurre l'obbiettivo stesso, in modo che sia chimicamente acromatico. Vero è che ricorrendo, come pur si fece, a telescopi riflettori, questo inconveniente del cromatismo verrebbe senz'altro ad essere eliminato. Ma in generale le immagini date dai telescopi di dimensioni ordinarie sono troppo pallide e troppo piccole per le esigenze delle misure astronomiche, e nel caso speciale in cui trattasi di fotografare il sole, l'influenza dell'alta temperatura sullo specchio riflettore produce deformazioni dell'immagine, delle quali non è possibile tenere nelle misure conto sicuro.

Il primo a risolvere il problema dell'acromatismo chimico delle lenti fu Rutherfurd, un americano, il quale nelle vicinanze di New-York fondò a proprie spese un osservatorio fotografico. Egli cominciò nel 1864 a modificare la curvatura degli obbiettivi in modo da sacrificare interamente l'acromatismo ottico a quello fotografico. Questa soluzione del problema, avendo il grave inconveniente di rendere l'obbiettivo fotografico improprio alle osservazioni ordinarie, Rutherfurd ricorse ad altra soluzione. Aggiunse alle due lenti, che ora costituiscono l'obbiettivo otticamente acromatico, una terza lente di vetro flint di curvatura speciale, studiata in modo da correggere l'aberrazione cro-

matica dei raggi chimici. Questa terza lente ausiliaria, da aggiungersi all'obbiettivo ogni volta lo si vuole usare in esperienze fotografiche, ha due inconvenienti; costa assai, e aumenta la quantità di luce assorbita dalla massa vitrea dell'obbiettivo.

Cornu, professore alla scuola politecnica di Parigi, ottenne l'acromatismo chimico di una lente con quest'altro metodo semplicissimo; allontanò le due lenti onde risulta un obbiettivo otticamente perfetto, di una piccola quantità, cui si può praticamente e teoricamente ottenere con tutta esattezza. Questo metodo nulla lascia a desiderare quanto ad economia e speditezza, ma ha l'inconveniente che produce un'aberrazione di sfericità, dovuta a ciò che, poste le due lenti ad una certa distanza fra loro, la distanza focale della regione centrale dell'obbiettivo diventa un po' più grande di quella che corrisponde alla regione attigua e prossima alla periferia.

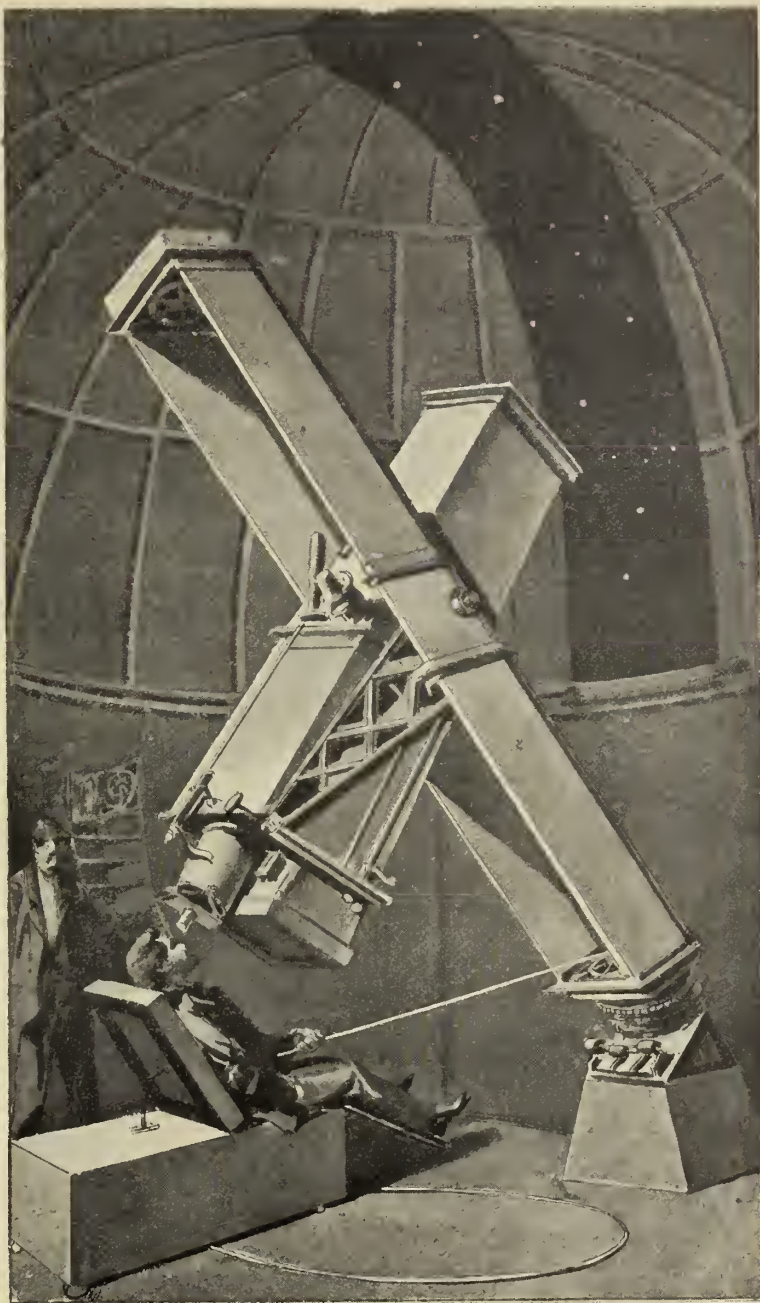
In America, Pickering, direttore dell' osservatorio del collegio Haward, coadiuvato dall'ottico Alvan Clark, riuscì a superare questo inconveniente grave del metodo di Cornu con un artifizio ben semplice. Un obbiettivo ordinario risulta di due lenti messe a contatto, una di vetro crown, l'altra di vetro flint. Pickering fa dare alle due superfici della lente di crown una curvatura diversa; quando usa l'obbiettivo colle due lenti a contatto, pone aderente alla lente di flint la superficie della lente di crown che ha una convessità maggiore; quando in fotografia usa l'obbiettivo colle due lenti separate, rovescia la lente di crown in modo che la sua superficie più convessa riesca esterna. Con questo semplice artifizio ottenne un obbiettivo ugualmente buono e perfetto sia che lo si applichi ad osservazioni dirette, sia che lo si trasformi per gli usi della fotografia.

L'avere superato il primo ostacolo proveniente dalla mobilità degli astri, l'essere riusciti a proiettare sulla lastra fotografica l' immagine già ampliata del corpo celeste, l'avere risolto il problema dell'acromatismo chimico delle lenti costituiva già un gran passo in favore della fotografia astronomica. Ma tutto non era ancora fatto. Bisognava ancora perfezionare dal punto di vista chimico i provvedimenti fotografici, bisognava ancora studiare dal punto di vista astronomico le immagini fotografiche stesse.

La Chimica non fece a lungo attendere i perfezionamenti richiesti, nè lenti furono gli astronomi a compiere con esito fortunato le necessarie ricerche. Presto riuscirono essi a dimostrare che l' immagine fotografica non subisce trasformazioni o deformazioni commensurabili, dovute al contrarsi della pellicola sensibile; che non esiste irradiazione fotografica, se non nel caso di una ultra-esposizione facile ad evitarsi, che cioè l' immagine fotografica di un oggetto potentemente illuminato non ne oltrepassa mai il vero contorno geometrico; presto riuscirono essi a costruire apparecchi destinati a eseguire sulle prove fotografiche le misure più delicate, e a ottenere queste misure stesse con squisita precisione. D' altra parte nel 1851 Scott Archer in Inghilterra alla lastra d'argento di Daguerre, poco sensibile all'azione della luce, sostituiva con grande successo una lastra di vetro sulla quale una pellicola di collodio serve da substrato al cloruro d'argento, e nel 1877 la chimica trovava le lastre secche a gelatina bromuro di argento, dotate di sensibilità alla luce quasi istantanea.

Con quest'ultima scoperta il problema della fotografia celeste si potè dire quasi compiutamente risolto. Si era cominciato dalla daguerrotipia applicata alla luna nel 1840; G. A. Majocchi a Milano era riuscito nel luglio del 1842 ad ottenere la daguerrotipia del sole parzialmente eclissato; s'erano dopo il 1851, utilizzando le lastre a collodio umide, fotografate con successo crescente la luna, il sole, i pianeti, e s'erano fino al 1877 incontrate difficoltà gravi solo nel fotografare le stelle. Le lastre a collodio umide esigevano, per dare le immagini delle stelle fino alla nona grandezza, grandi strumenti, grandi obbiettivi, campo dei cannocchiali molto piccolo, pose molto lunghe. Colle lastre secche, molto più sensibili alla luce, si poterono in breve tempo utilizzare cannocchiali di vasto campo e di dimensioni mediocri, pure ottenendo con essi e con pose relativamente brevi le immagini fotografiche delle stelle più deboli del cielo.

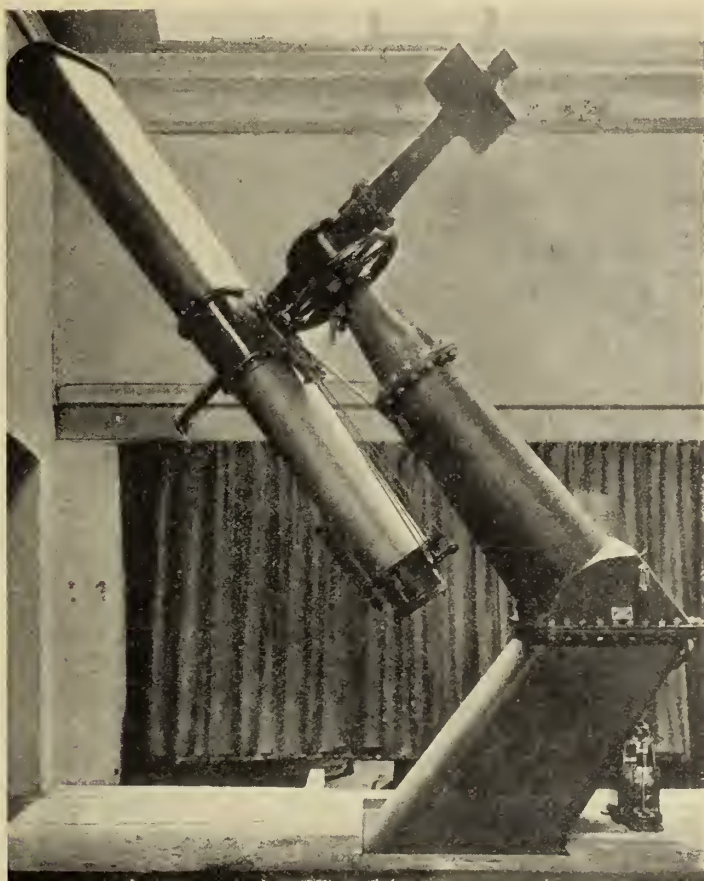
Astro-foto-eliografo Henry.

L'esperienza dimostrò allora che a ottenere belle fotografie di cumuli stellari, di nebulose, di comete, della Via Lattea bastava prolungare la posa per tutto il tempo necessario, e ottenere che per tutto il tempo stesso le immagini degli astri da fotografarsi conservassero rigorosamente una posizione immutabile rispetto a quella della lastra sensibile, rigorosamente, e non con quella approssimazione, pur notevole, che possono dare

automaticamente le ben note macchine parallatiche di Fraunhofer. A superare quest'ultima difficoltà riuscirono i fratelli Henry, astronomi e ottici in Parigi, con uno strumento di non difficile costruzione.

Consiste esso di due tubi appaiati coi loro assi perfettamente paralleli, e portanti alla loro estremità superiore l'uno un obbiettivo otticamente acromatico, l'altro un obbiettivo chimicamente acromatico. I due tubi sono portati da un'unica montatura equatoriale, la quale dà automaticamente ad amendue uno stesso moto prossimamente sincrono a quello apparente della sfera celeste se si tratta di stelle, a quello più complesso dell'astro errante se d'un tal astro si tratti. Dei due obbiettivi, quello otticamente acromatico è largo cm. 24, costituisce, col rispettivo tubo e coll'oculare di forte ingrandimento avvitato all'estremo opposto di questo, un cannocchiale ordinario, e serve all'astronomo prima come cannocchiale cercatore, poi come mezzo per assicurarsi prima direttamente che l'intero strumento continua, per tutto il tempo necessario, ad essere puntato con precisione verso un medesimo punto del cielo, per correggere poi a mano le piccole deviazioni appena si presentano; quello chimicamente acromatico è largo cm. 34, e col tubo rispettivo e colla lastra sensibile collocata all'estremo inferiore di esso tubo costituisce la macchina fotografica.

Rifrattore fotografico di Repsold.

Con questo strumento degli Henry e con strumenti analoghi si sono oramai ottenute fotografie bellissime e scientificamente utilissime di tutti gli astri e di intere regioni del cielo; si riuscì a scoprire in corpi di diversissimo splendore, nel sole ad esempio e nelle nebulose, dettagli di struttura, che all'occhio anche armato di cannocchiali potenti erano finora sfuggiti. Nè la ragione è difficile a rintracciarsi. La lastra fotografica sensibile è un organo, dal punto di vista dell'impressionabilità, ben più perfetto che la retina dell'occhio umano. Questa conserva solo per brevissimo tempo le impressioni

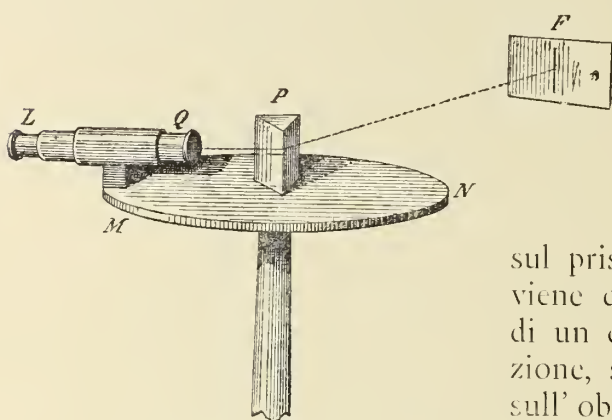
luminose, quella le conserva indefinitamente; sulla retina le impressioni cessano di essere efficaci dopo un decimo circa di secondo di tempo, e perchè l'immagine di un oggetto permanga nell'occhio, bisogna che dall'oggetto esso riceva impressioni sempre nuove; sulla lastra sensibile le impressioni della luce non cessano di far sentire l'efficacia loro anche dopo l'istante in cui esse avvennero; sulla retina l'impressione che avviene in un dato istante di tempo, trascorso un decimo di secondo, è come se avvenuta non fosse; nulla di si-

Rifrattore fotografico di Potsdam.

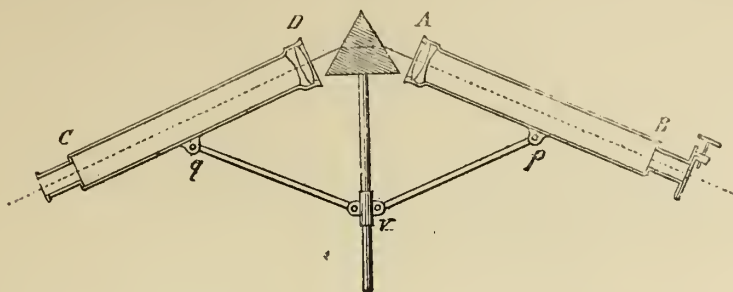
mile avviene per le lastre sensibili fotografiche; sulla retina le impressioni luminose non si accumulano, le immagini sono fugaci, poco intense e non suscettibili di diventar più intense accumulandosi col tempo; le lastre fotografiche accumulano indefinitamente le impressioni luminose e ne conservano traccia sempre crescente. Così avviene che quanto più cresce la durata della posa tanto più pallidi sono gli oggetti che si riesce a fotografare, a vedere, per così dire, colla lastra sensibile; così avviene che mentre basta una frazione minima di minuto secondo per dare una fotografia del sole, occorre una posa di ore ed ore per ottenere la fotografia di una pallida e tenue nebulosa.

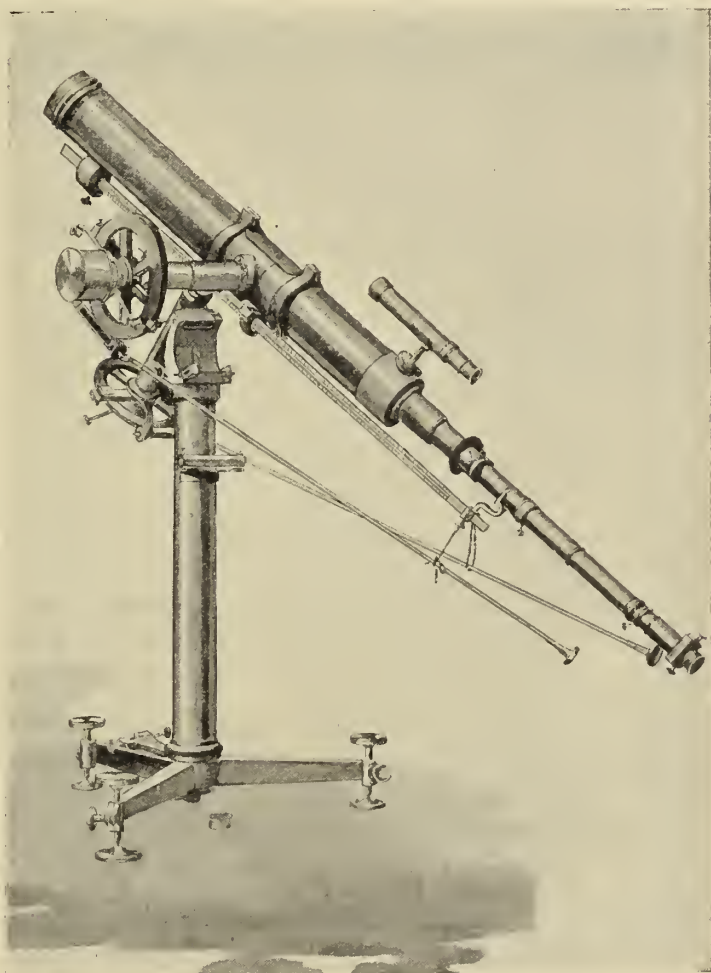
IX.

Spettroscopia e spettroscopi: Fatti fondamentali della Spettroscopia — Spettro luminoso solare e righe di Fraunhofer — Invenzione e perfezionamenti successivi dello spettroscopio — Ricerche di Wheatstone — Spettri continui — Spettri discontinui — Ricerche di Kirchhoff e di Bunsen — Rapporto fra le righe oscure dello spettro continuo e le righe lucide dello spettro discontinuo — Rovesciamento delle righe — La spettroscopia applicata al'Astronomia — L'Astrofisica e le scienze intermedie — Considerazioni generali.

Quando un fascio di luce solare viene ad attraversare un prisma di cristallo, un vetro triangolare come dicevasi una volta, si decompone e produce un nastro luminoso (spettro) nel quale si succedono con ordine determinato e costante i colori diversi dell'iride, il rosso, l'aranciato, il giallo, il verde, l'azzurro, l'indaco, il violetto. Quest'è universalmente noto così come è oramai famigliare il celebre esperimento fatto da G. Fraunhofer nel 1814.

Sopra un tavolo orizzontale si colloca un prisma triangolare P di cristallo puro, e a una certa distanza da esso una lastra rettangolare con una fessura F verticale, strettissima e a bordi paralleli. Si fa cadere sulla fessura, per mezzo di uno specchio meglio per mezzo di un eliostato, un raggio di luce solare, e questo proseguendo il cammino suo rettilineo viene a cadere sul prisma, lo attraversa e nell'attraversarlo viene deviato dal suo cammino anteriore di un certo angolo detto di minima deviazione, sicchè uscendo dal prisma esso cade sull' obbiettivo di un piccolo cannocchiale QL. Se il prisma è di buona qualità, se il cannocchiale è acromatico, guardando in quest'ultimo si vede a prima giunta un bel nastro continuo vagamente colorato (lo spettro), e riguardando si vede il nastro stesso solcato da un grande numero di righe oscure, sottili, delle quali le più intense Fraunhofer designò con le prime lettere dell'alfabeto. Pose la riga A nell'estremo rosso, la B nel rosso, la C nel rosso aranciato, la D nel giallo, la E e la b nel verde, la F là dove l'azzurro principia, la G nell'indaco, la H nel violetto, e queste designazioni sue sono ancor oggi religiosamente adottate.

Esperimento di Frannhofer.

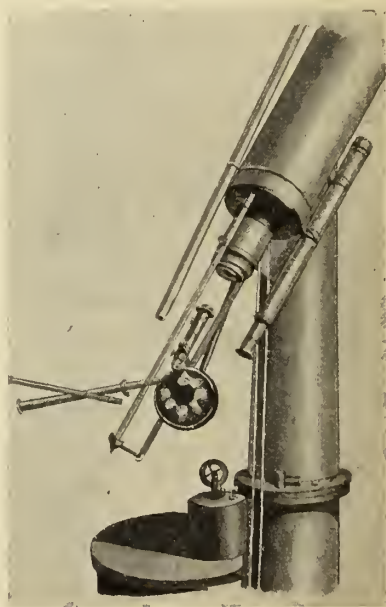
Fraunhofer riuscì tosto a dimostrare che nello spettro della luce del sole le righe oscure conservano sempre fra di loro i medesimi rapporti d' ordine e di intensità, ed occupano sempre le medesime posizioni relativamente ai colori dello spettro; utilizzò senz'altro le righe stesse per individuare con precisione fino a lui ignota i diversi tratti dello spettro, per determinare in modo più preciso di quello che prima di lui sapesse farsi l'indice di rifrazione dei vetri, producendo così nella industria ottica e nella costruzione dei cannocchiali quel progresso in queste pagine stesse già avvertito.

Lo spettroscopio nella sua più semplice costruzione.

Non riusci a Fraunhofer e ai fisici del tempo suo di spiegare in modo soddisfacente la causa delle righe oscure in questione, universalmente dette di Fraunhofer, e meno ancora di supporre la grande importanza che le righe stesse avrebbero assunto nella scienza del secolo decimonono. Nessuno si immaginava allora che per mezzo di esse righe sarebbesi più tardi trovato modo di risalire dallo spettro alla natura del corpo luminoso che lo produce, si sarebbero tratte rispetto ai materiali componenti i corpi luminosi quelle cognizioni stesse che la chimica ottiene rispetto ai corpi terrestri per mezzo dell'analisi diretta. In qual modo lo spirito umano sia riuscito a risolvere un problema che sarebbesi detto ad esso inaccessibile, ad analizzare cioè un raggio di luce, cui toccare non si può, di cui l'essenza rimane per sempre ignota, che sfugge ad ogni altro senso lasciando solo un'impressione fugace sull'occhio, è cosa che fino ad un certo punto può spiegarsi in modo anche popolare.

Cannocchiale con spettroscopio a visione diretta.

Fu necessario anzitutto inventare e perfezionare lo strumento detto spettroscopio. Esso riducesi all'apparato stesso col quale Fraunhofer eseguì la sua celebre esperienza, colla sola aggiunta di una lente. Si colloca la fessura F

nel piano focale principale di una lente convergente; si pone questa lente all'un dei capi di un tubo metallico, la fessura all'altro capo, ed al sistema formato dalla lente, dalla fessura e dal rispettivo tubo si dà il nome di collimatore dello spettroscopio. La luce attraversa prima la fessura, arriva sulla lente del collimatore, ne esce in fasci paralleli, cade sul prisma, viene da questa deviata e dispersa, entra nel cannocchiale, attraverso al quale l'occhio vede e studia lo spettro luminoso dal prisma stesso prodotto. Tale nella sua più semplice costruzione è lo spettroscopio, il quale essenzialmente risulta di tre parti, un collimatore A B, un prisma triangolare di cristallo puro, un cannocchiale C D.

Grande spettroscopio a nove prismi.

Furono gli spettroscopi grandemente modificati e perfezionati; ad un solo prisma fu sostituita una serie di prismi; alle serie dei prismi disposti a cerchio fu sostituito dal nostro celebre Amici un prisma composto a visione diretta; ai prismi fu sostituito un reticolo di diffrazione consistente in un sistema di linee parallele, equidistanti, fittamente tracciate sopra una lamina di vetro o di metallo duro e ben terso; al collimatore e al cannocchiale fu aggiunto un piccolo apparecchio che produce nel campo del cannocchiale vicino, allo spettro luminoso che si vuol indagare, l'immagine di una scala divisa in parti uguali, oppure un secondo spettro prodotto da fiamma nota ed artificiale, trasformando così lo spettroscopio in spettrometro; furono fatti spettroscopi grandi e pesanti per uso dei chimici, spettroscopi leggeri, maneggevoli, adattabili ai grandi cannocchiali delle specole per uso degli astronomi; in astronomia furono costrutti spettroscopi speciali per lo studio degli spettri del sole, delle stelle, delle nebulose e via; ma essenzialmente lo spettroscopio, del quale a ragione si disse che ampliò il dominio della fisica e della chimica quanto i cannocchiali e i telescopi allargato avevano quello della vista, rimase pur sempre costituito dalle tre parti più su accennate; il collimatore sul quale si fa ca-

Spettroscopio applicato ad un cannocchiale astron.

dere la luce che si vuol esaminare, il prisma oppure l'apparecchio destinato a scomporre e a disperdere la luce che esce dal collimatore, il cannocchiale che guarda e osserva la luce così dispersa.

Per mezzo di uno spettroscopio Carlo Wheatstone nel 1835 riuscì a trovare e a dimostrare che i vapori incandescenti di un metallo producono uno spettro formato da poche righe lucide, di colore diverso, separate le une dalle altre da larghi intervalli perfettamente oscuri. Uno stesso metallo bruciando produce senza eccezioni sempre le medesime righe lucide, e queste cambiano da uno ad un altro metallo in modo così certo e caratteristico, che con poco esercizio si arriva a distinguere i metalli diversi per mezzo dello spettro da essi prodotto.

Si conobbero allora due specie di spettri: gli spettri continui come quello di Fraunhofer, nastri luminosi a colori diversi, solcati trasversalmente da righe sottili ed oscure; gli spettri discontinui, come quello di Wheatstone, nastri oscuri interrotti da poche righe lucide e colorate. Si dimostrò allora che ogni materia semplicemente incandescente produce sempre uno spettro continuo, che quando si ottiene allo spettroscopio uno spettro discontinuo si ha certamente a fare con materie allo stato gasoso. Si potè allora affermare, che i corpi meramente incandescenti, in qualunque stato si trovino, non danno mai righe lucide separate, ma sempre uno spettro continuo, che le righe lucide si osservano ogni qual volta una sostanza in combustione si combina chimicamente con altre.

Restava a scoprire il nesso che lega l'uno all'altro i due ordini di fatti studiati da Fraunhofer e da Wheatstone, lo spettro continuo al discontinuo. Qui si ebbe uno di quei periodi, che soventi si incontrano nella storia delle scoperte scientifiche. Foucault, Stockes, Angstrom, Stewart ed altri si avvicinarono alla scoperta di questo nesso, ne videro questo o quel carattere, lo intuirono e conquistarono in parte, senza pervenire all'intera conoscenza di esso. La gloria di ciò fare era riservata a Kirchhoff e a Bunsen, i quali nel 1859-1860 pubblicarono in proposito un'opera che fa epoca.

Essenzialmente la scoperta di Kirchhoff si riduce a ciò che dai vapori spenti di una sostanza data vengono appunto assorbiti quei raggi cui essi vapori emetterebbero se fossero in istato luminoso. Così i vapori di sodio brucianti producono nello spettro una riga gialla caratteristica; se invece si mantengono i medesimi nello stato di semplice vapore non incandescente, e si fa attraverso ad essi passare un raggio luminoso prima che questo raggiunga lo spettroscopio, essi producono nello spettro una riga oscura là dove prima ne producevano una gialla; la riga lucida del primo spettro viene nel secondo cangiata, rovesciata, in una riga oscura.

Per tal modo se si giunge ad osservare contemporaneamente, a giustapporre lo spettro di un metallo che brucia e quello di un corpo luminoso, del sole, di una stella ad esempio, e si trova che una riga oscura di quest'ultimo corrisponde esattamente ad una riga lucida del primo, ragion vuole che si possa dedurre avere il raggio luminoso partito dal sole o dalla stella attraversato prima di pervenire allo spettroscopio un'atmosfera contenente vapori spenti di quel metallo stesso. Per tal modo resta dimostrato ancora che le righe oscure di Fraunhofer sono righe di assorbimento, prodotte cioè dal-

l'assorbimento esercitato da un'atmosfera speciale che i raggi luminosi del sole attraversano prima di arrivare allo spettroscopio.

Sovra i pochi principii esposti fondansi essenzialmente le ricerche di astronomia fisica fatte durante il secolo decimonono battendo vie prima affatto inesplorate. Sono molti i problemi astronomici ai quali fu con successo applicato lo spettroscopio; lo spettro del sole, gli spettri dei pianeti, lo spettro della luna furono studiati per i primi; poi, perfezionati gli strumenti e i metodi di misura, venne la volta degli spettri delle comete, degli aeroliti, delle nebulose, delle stelle. Dapprima oggetto unico della spettroscopia era la costituzione fisica degli astri, in seguito si capì che ben più vasto era il campo nel quale il nuovo strumento poteva diventar utile. Si trovò modo di determinare per mezzo dello spettroscopio la durata della rotazione del sole, le velocità radiali dei movimenti delle stelle, dei movimenti cioè che le stelle compiono nella direzione secondo cui sono viste dalla terra; si applicò lo spettroscopio allo studio delle stelle multiple, alla determinazione delle orbite loro; e a rendere più sicure queste applicazioni tutte del nuovo strumento di indagine, si riuscì a fotografare gli spettri delle stelle, utilizzando ad un tempo e lo spettroscopio e la lastra sensibile del fotografo, e richiamando in uso il prisma obbiettivo di Fraunhofer, applicato già, dopo Fraunhofer, dal Secchi nelle sue ricerche sugli spettri delle stelle; si applicò lo spettroscopio ancora allo studio delle stelle variabili e dello splendore in generale delle stelle, traendone uno strumento speciale detto spettro-fotometro.

Si venne così formando un'astronomia nuova, l'astrofisica, creazione di Galileo, dal secolo nostro, svolta, ampliata e sospinta a grande altezza. È questo un fatto speciale che rientra in altro più generale e caratteristico, sul quale, pervenuti alla fine di questa prima parte del lavoro, val la pena di soffermarsi un momento. Per esso scienze diverse in apparenza sconnesse, nel caso nostro l'ottica, la chimica, l'astronomia, si uniscono insieme, si fondono quasi, e danno origine a nuovi e non sospettati rami dello scibile, a scienze nuove che potrebbero anche dirsi intermedie. È questo un fatto importantissimo in sè e per sè, e tale rimane ancora se lo si considera ne' suoi rapporti collo scibile e collo svolgimento del pensiero umano.

Da qualche tempo molti cominciavano a dubitare che la scienza positiva e sperimentale battesse oramai una strada falsa, che in essa troppo assoluto dominasse il metodo analitico e troppo poca parte si facesse al metodo sintetico, che gli scienziati, per intero assorti dall'esame dei fatti singoli, intenti solo ad accumulare dettagli e fatti isolati, portassero nelle loro indagini bensì un sapientissimo tecnicismo ma uno scarso spirito filosofico. Colla creazione di nuovi rami dello scibile gli scienziati distrussero dalle radici il grave dubbio che intorno all' opera loro si andava sussurrando, poichè le nuove scienze intermedie, che prendono tanta parte dell'odierno lavoro scientifico, sono appunto un portato del metodo sintetico, rappresentano anzi esse stesse una felice sintesi, una sintesi nuova, non aspettata, non sospettata pure. Il fatto della comparsa loro, caratteristico del tempo nostro, non è ancora compreso in tutta la sua estensione, nè apprezzato in tutto il suo valore dal pubblico non meno che da taluno fra i dotti, ma esso non cessa perciò di avere una grande e straordinaria importanza da qualunque punto di vista lo si voglia considerare.

PARTE SECONDA

Sistema planetario — Sole — Stelle — Nebulose.

I.

I piccoli pianeti: Legge di Bode — Lacuna esistente fra i pianeti Marte e Giove — Osservazione e scoperta di Giuseppe Piazzi a Palermo — Il nuovo pianeta Cerere — Determinazione della sua orbita e difficoltà teoriche del problema — Sua soluzione — Federico Gauss — I nuovi pianeti Pallade, Giunone, Vesta — Guglielmo Olbers — Nuove scoperte di piccoli pianeti a cominciare dal 1845 — L'anno 1891 e l'applicazione della fotografia all' osservazione e alla ricerca dei piccoli pianeti — Numero grande dei piccoli pianeti già trovati — Calcoli laboriosi che ogni piccolo pianeta richiede — Ingente lavoro degli astronomi del secolo intorno ai piccoli pianeti scoperti — Difficoltà che in esso si possa perdurare — Questioni insolute che si collegano ai piccoli pianeti — Il piccolo pianeta Eros (433) — Ogni nuova scoperta di piccolo pianeta ha una importanza scientifica indiscutibile.

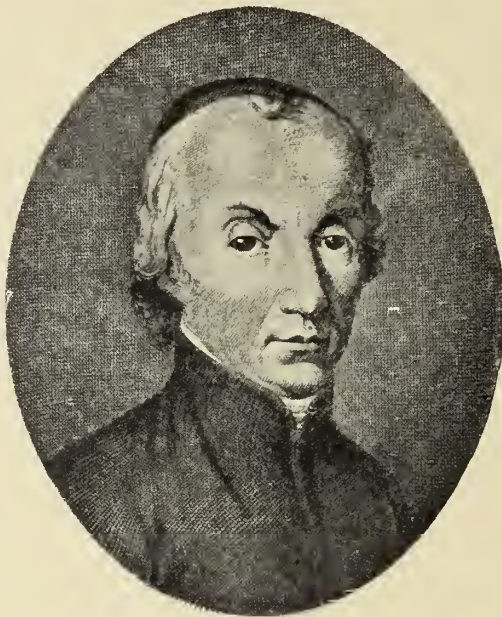
I piccoli pianeti costituiscono un capitolo speciale ed esclusivo dell' Astronomia del secolo decimonono, nè di essi trovasi traccia nei tempi anteriori.

Verso il finire del secolo scorso e in sul cominciare di quello che sta per chiudersi, le menti degli astronomi erano dominate dalla legge detta di Bode. Riguardava questa una certa progressione armonica nelle distanze dei pianeti dal Sole, e la si intitolava dal nome di Bode, allora direttore dell'Osservatorio di Berlino, sebbene si sapesse che Titius l' aveva primo enunciata nel 1772.

Se si indica col numero 4 la distanza media che separa Mercurio dal Sole, Titius notato aveva che le distanze analoghe di Venere, della Terra, di Marte, di Giove e di Saturno sono espresse rispettivamente dai numeri $4 + 3$; $4 + 6$; $4 + 12$; $4 + 48$; $4 + 96$, e che a questa successione di numeri manca, ad essere continua, il numero $4 + 24$. Questa interruzione esiste essa realmente in natura? È dessa conseguenza di una cognizione imperfetta del Sistema solare?

La progressione dei numeri 4; 4 + 3; 4 + 6... non è matematicamente esatta, e per essere tale dovrebbe il primo termine suo diventare, invece che a 4, uguale a $4 + 1\,{}^1/_2$; la progressione stessa non ha un vero fondamento scientifico, nè consegue necessariamente da alcuno dei principî meccanici, ai quali si informa il sistema del Sole. Ma ciò poco importa; tale e così potente fu in ogni tempo, ed è ancora, sullo spirito umano il sentimento della simmetria e dell'armonia nelle opere della natura, che universalmente, anche fra i dotti, anche fra coloro i quali della legge di Titius capivano il lato debole, si radicò l'idea che nel Sistema solare, fra i pianeti Marte e Giove, e alla distanza espressa nella progressione armonica di Titius dal numero 4 + 24, un corpo ignoto doveva esistere.

Già Keplero notato aveva la lacuna esistente fra Marte e Giove, e, guidato dall' intuito profetico del suo genio, non che dalle idee di armonia universale le quali nella sua mente avevano gettate radici profonde, supposto aveva che un pianeta ignorato colmar dovesse la antiarmonica e lamentata lacuna; nè queste idee di Keplero, nè la tradizione sempre viva dei concetti proprii della grande, geniale e antica scuola italica dei Pitagorici erano rimaste estranee al favore con cui era stata accetta la legge di Titius, e alle supposizioni che essa aveva eccitate.

Giuseppe Piazzi.

Nel 1781 Guglielmo Hirschel scoperto aveva il pianeta Urano, del quale la distanza dal Sole si trovò espressa dal numero 4 + 192, numero che si inquadra perfettamente nella progressione di Titius. Nessuna conferma più splendida quest'ultima poteva desiderare, e dal giorno in cui Urano fu trovato fra le stelle colle quali da tempo andava confuso, l'idea che un nuovo pianeta si sarebbe col tempo trovato ancora fra Marte e Giove gettò, se questo era possibile, radici ancor più salde.

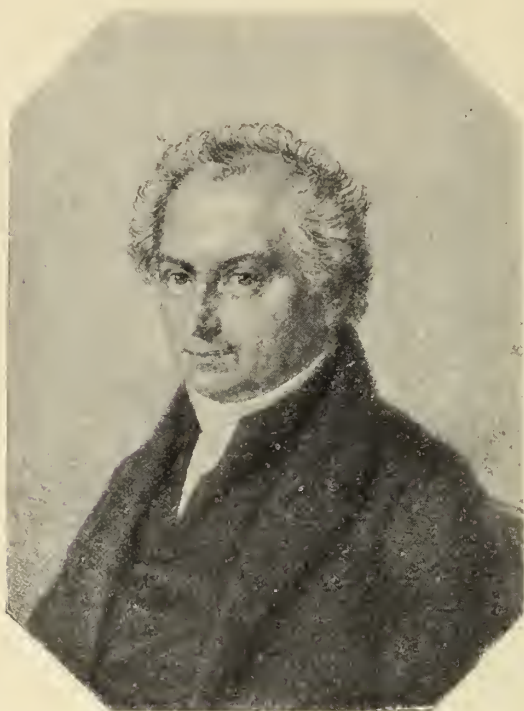
Così stavano le cose, e non pochi astronomi in Europa andavano ricercando sistematicamente il nuovo astro, quando il nostro Giuseppe Piazzi, lavorando alla formazione di un Catalogo di stelle al suo Osservatorio di Palermo, osservò a caso la sera del primo gennaio del 1801 nella costellazione del Toro un astro, che aveva tutte le apparenze di una stella piccola di ottava grandezza, ma che a differenza delle altre stelle cambiava ogni giorno di posto nel cielo. Piazzi osservò per più giorni il nuovo astro errante, ma non ne diede subito notizia al mondo scientifico. Non è qui il caso di entrare a questo proposito in maggiori dettagli, e il lettore che ne fosse vago li potrà leggere sì nella corrispondenza astronomica del barone Di Zach, che

nell'epistolario di Piazzi e di Oriani pubblicato dall'Osservatorio astronomico di Milano, ma il fatto è che quando la notizia della scoperta di Piazzi venne a diffondersi, l'astro al quale essa si riferiva, portato dal suo movimento proprio, si era occultato nè più potevasi osservare.

Poco errò dubbiosa la mente degli astronomi sulla natura del medesimo. Appena si dubitò che esso potesse essere una cometa; Piazzi, Oriani, Bode, Zach dichiararono tosto che un pianeta esso era, e il pianeta sospettato dietro la legge di Titius. Il nome di Piazzi salì alle stelle; Napoleone stesso, colla Francia ai piedi, coll' Europa sulle braccia, pur si occupò del fortunato scopritore, e gli scrittori di cose scientifiche popolari, allora meno numerosi che adesso, ebbero per un momento un ambito argomento a pagine belle ed eloquenti, sebbene scritte, allora come oggi, con soverchia, con troppa retorica.

Gli astronomi di quell'epoca non pensavano però senza trepidazione al nuovo astro. Del cammino da questo percorso Piazzi osservato aveva un breve tratto, uguale a sei volte circa il diametro apparente lunare. Era troppo breve perchè da esso si potesse con sicurezza argomentare l'intiero cammino percorso dal pianeta; e un nuovo problema si doveva risolvere. Non era più il caso dei grandi pianeti già conosciuti per i quali era noto il periodo della rivoluzione, non era nemmeno quello delle comete, per le quali la supposizione newtoniana dall' orbita parabolica dava come noto uno degli elementi dell' orbita a determinare, il grand'asse. Si trattava ora di dedurre, da poche osservazioni estese a un brevissimo tratto di orbita, e senz' altro sussidio che quello delle leggi del movimento, gli elementi tutti dell'orbita stessa. Il problema era irto di difficoltà; eppure, se ritrovar si voleva l'astro prima veduto da Piazzi, bisognava risolverlo. Perdere il nuovo pianeta del quale l'osservazione aveva arricchito il Sistema solare, sarebbe stata una troppo grande umiliazione per la scienza e per l'ingegno umano. Federico Gauss, allora giovanissimo, e che come matematico e come direttore dell' Osservatorio di Gottinga doveva in seguito affermarsi come uno dei più grandi ingegni del secolo nostro, risolvette il difficilissimo problema, e dietro i suoi calcoli il nuovo pianeta di Piazzi fu ritrovato la sera del giorno 7 di dicembre del 1801. Esso ricevette il nome di Cerere, la placida dea dell'agricoltura, la dea tutelare della Sicilia. Al suo nome va unita una delle epoche scientifiche più memorabili, e per il grande interesse che eccitò nel mondo intero, e per la risoluzione di un problema di meccanica celeste difficilissimo, e per il classico libro di Gauss intitolato *Theoria motus corporum caelestium* al quale diede più tardi nel 1807 occasione.

Federico Gauss.

Le menti cominciavano appena a riposare dall'ammirazione in esse eccitata dalla scoperta di Cerere, quando Guglielmo Olbers, l'illustre e celebre medico ed astronomo di Brema, scoprì il 28 marzo del 1802 un nuovo astro per natura, per apparenza e per orbita analogo a Cerere, e, quasi ciò non bastasse, un terzo ne trovò Carlo Ludovico Harding il giorno primo di settembre del 1804, un quarto Olbers stesso il 29 marzo del 1807. Era convenzione tacitamente accetta e per tradizione trasmessa dalla più alta antichità che i corpi del Sistema solare traessero il nome loro dalla Mitologia greca e romana; e i nuovi pianeti trovati ricevettero rispettivamente il nome di Pallade, di Giunone, di Vesta.

Guglielmo Olbers.

Cerere, con Pallade, con Giunone, con Vesta formano nella storia dei piccoli pianeti un gruppo a parte. Non uno ma quattro astri si erano rinvenuti, i quali tutti si aggirano attorno al Sole nello spazio compreso fra Marte e Giove. Guglielmo Herschel non voleva ammetterli nel numero dei pianeti, e voleva farne una classe a parte distinta sì da quella dei pianeti che dall'altra delle comete; voleva venissero chiamati col nome di aorati, perchè non potevano essere visti ad occhio nudo, oppure con quello di asteroidi perchè apparivano ed avevano tutti i caratteri esteriori delle stelle fisse. Le idee sue non incontrarono però favore, nè lo meritavano perchè prive in tutto di fondamento. I nuovi astri furono ritenuti a ragione come altrettanti pianeti, e dietro un'ipotesi, oggi non troppo sostenibile, di Olbers furono considerati come frammenti di un unico ed antico pianeta prima esistente nella plaga dello spazio da essi occupata, e venuto per un'occulta causa a scoppiare in frantumi. Per essi, vista la piccolezza delle loro dimensioni, fu adottato ed è ancor oggi universalmente ammesso il nome di piccoli pianeti, da alcuni cambiato in quello di planetoidi o nell'altro di pianetini. Non è impossibile che nell'avvenire gruppi analoghi di corpi cosmici vengano ad essere scoperti in una plaga diversa del Sistema solare, molto probabilmente in quella che corre fra il Sole e Mercurio. Allora si potrà pensare ad un altro nome da dare agli astri che fra Marte e Giove gravitano sul Sole; per ora quello di piccoli pianeti li caratterizza perfettamente.

L'analogia portò naturalmente gli astronomi del principio del secolo a pensare che a quattro non doveva limitarsi il numero dei piccoli pianeti esistenti, ma la grande autorità di Olbers fu, a questo riguardo, dannosa. Olbers, guidato dal concetto che si era fatto sull'origine dei piccoli pianeti, stabilì

che nelle loro migrazioni attraverso allo spazio essi dovevano passar tutti per le costellazioni della Vergine e della Balena. Olbers e i seguaci suoi stettero a spiare quella prediletta regione del cielo, ma invano; passarono anni ed anni e nessun nuovo astro venne a mostrarsi agli occhi impazienti di scoperte. L'insuccesso smorzò l'ardore da principio universale; a poco a poco le osservazioni presero altro indirizzo, e i piccoli pianeti non ebbero più che pochi e spassionati cultori.

Si arrivò così all'anno 1845. Dal 1807 fino al giorno 8 di settembre dell'anno 1845 nessun piccolo pianeta fu ritrovato; nel settembre del 1845 una nuova era si aprì per la storia dei piccoli pianeti. Si riconobbe l'erroneità del consiglio di Olbers, che di troppo aveva limitato il campo della ricerca; tutte le regioni del cielo, quelle specialmente lunghesso l'eclittica, furono scrutate. L'astronomo dilettante Carlo Ludovico Hencke, il quale nel 1845 aveva avuta la fortuna di aprire la nuova êra delle scoperte dei piccoli pianeti, ne ritrovò un secondo, il sesto dell'intera serie, il giorno primo del luglio del 1847, e da questa data comincia la ricerca sistematica dei planetoidi, ricerca fatta costruendo accurate carte celesti, e paragonando colle stelle segnate su esse carte le stelle e gli astri tutti visibili in cielo con cannocchiali di mediocri dimensioni, ricerca feconda di scoperte non interrotte.

A partire dal 1847 nessun anno passò senza che nuovi piccoli non pianeti fossero scoperti, sicchè alla fine dell'anno 1891 il numero loro era già salito a 321. Ad ognuno di essi erasi continuato a dare un nome speciale, ma ad evitare confusioni presto erasi convenuto fra gli astronomi di indicare ognuno di essi con un numero chiuso in un circoletto, il numero essendo determinato dalla data della scoperta. In questo sistema d'origine americana, il simbolo (321) individua il piccolo pianeta che nella serie delle scoperte occupa il trecentoventunesimo posto, lo individua senza ambiguità, ma ciò malgrado gli astronomi non vollero rinunciare ad aggiungere al simbolo numerico uno speciale nome di battesimo. Dapprincipio si continuò a trarre questi nomi dalla mitologia, ma in seguito il numero ognora crescente, il capriccio talora fecero sì che si ricorse ad altre fonti, producendo nella nomenclatura dei planetoidi una confusione grande e di poco buon gusto.

Non a caso la nostra narrazione si arrestò qui sopra all'anno 1891. Con quest'anno si chiude infatti quella che nella storia delle scoperte dei piccoli pianeti potrebbe chiamarsi la seconda êra, e una terza si apre. In sullo scorcio del 1891 e nei primi mesi del 1892 l'astronomo Max Wolf di Heidelberg applicò per primo la fotografia all'osservazione e alla ricerca dei piccoli pianeti, scegliendo lastre sensibili opportunamente preparate e disposte, ottenendo sovr'esse le immagini dei piccoli pianeti e delle stelle attigue, individuando queste ultime per mezzo di atlanti e di cataloghi stellari, deducendo le posizioni dei piccoli pianeti da quelle già note delle stelle vicine.

Nessuna difficoltà si incontra a distinguere sulle lastre sensibili le immagini delle stelle da quelle dei pianetini; le prime trattandosi di astri fissi riduconsi ad un punto, le seconde consistono, in quanto sono prodotte da astri dotati di movimento proprio, in una serie continua di punti formanti una sottile linea.

Numerosissimi furono i piccoli pianeti nuovi ed ignoti rintracciati sulle lastre fotografiche, sicchè può dirsi che il nuovo metodo fotografico di ricerca inizia una nuova êra fecondissima di risultati. A Heidelberg fra il 28 novembre del 1891 e il 18 marzo del 1892 Wolf scoprì per mezzo della fotografia 21 planetoidi ignoti, ed il metodo fotografico di ricerca essendosi adottato anche all'osservatorio di Nizza dall' astronomo Charlois, 20 scoperte di piccoli pianeti vi si ebbero nel secondo semestre del 1892, 36 nei primi dieci mesi del 1893.

Spesseggiarono talmente queste scoperte che fu deciso di indicarle dapprima coll'anno della scoperta seguito da una ettera dell'alfabeto (1893, A; 1893, B...), ed, esaurite le lettere dell'alfabeto, di indicarle coll' anno della scoperta susseguito dalla lettera A combinata successivamente con ognuna delle lettere diverse, dalla lettera B analogamente combinata, e così via (1893, A B; 1893, A C...; 1893, A Y; 1893, A Z; 1894, B A; 1894, B B...), che si convenne inoltre di lasciare a coloro i quali elaborano le teorie dei movimenti dei piccoli pianeti la cura di dare poi, dietro l'uso antico, ad ogni planetoide scoperto, il proprio numero progressivo e definitivo.

Annibale De Gasparis.

Non tutti i piccoli pianeti infatti indicati come nuovi dalla fotografia si possono ritenere o tali o realmente conquistati alla scienza. Alcuni di essi si trovano poi coincidere con altri anteriormente trovati; di alcuni le posizioni osservate non riescono abbastanza numerose per rendere certa la scoperta loro e possibile il calcolo abbastanza sicuro del loro prossimo moto avvenire.

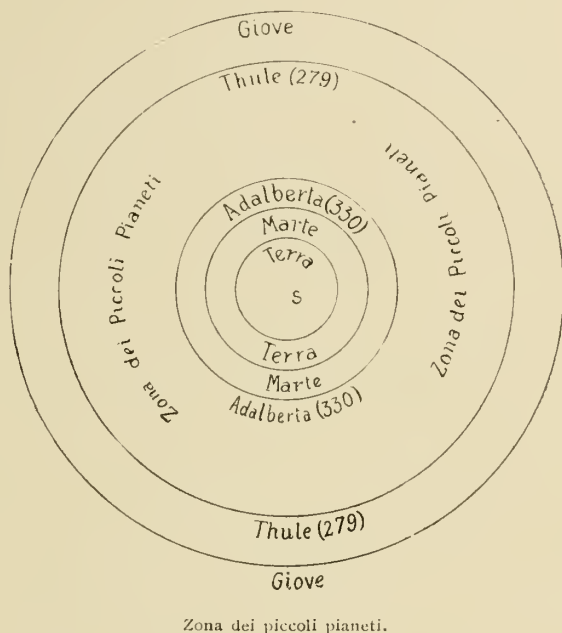
Così accade che in questo momento (26 luglio del 1899) l'ultimo piccolo pianeta scoperto porta l'indicazione provvisoria 1899, E N; il numero caratteristico assegnato all'ultimo planetoide che ritiensi definitivamente scoperto è il 444.

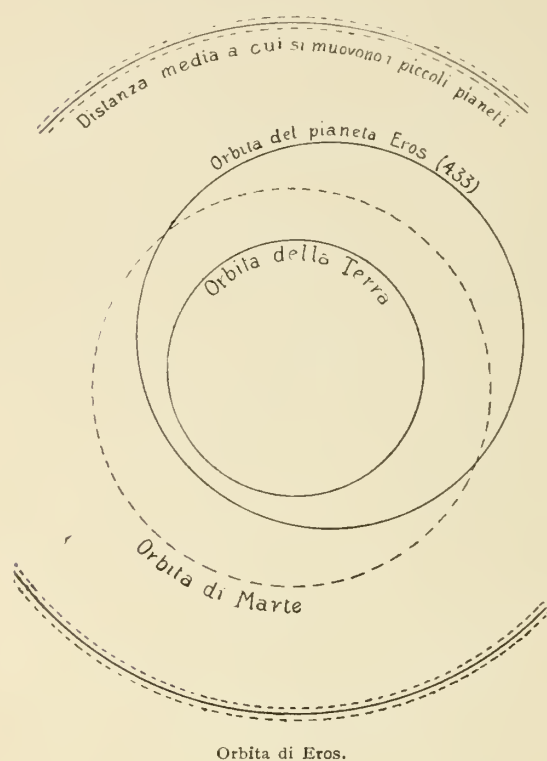
Sono quindi 444 i piccoli pianeti oggi conosciuti, e questo è degno di nota che essi furono trovati da un numero relativamente piccolo di astronomi. Sono poche le scoperte singole fatte a caso in occasione di altre osservazioni, e fra esse meritano di essere qui ricordate quelle dovute ad astronomi italiani, la scoperta di (69), Esperia, fatta da G. V. Schiapparelli nell'aprile del 1861, le scoperte di (303), Giuseppina, e di (306), Unità, fatte da E. Millosevich nel febbraio e nel marzo 1891. Sono invece numerosissime le scoperte fatte sistematicamente da astronomi cercatori di piccoli pianeti per mestiere. Il nostro Annibale De Gasparis direttore dell'osservatorio astronomico di Napoli ne scoprì, dal 1849 al 1865, nove; Knorre e Coggia ne scoprirono 4 cadauno; Tempel ne scoprì 5, Perrotin e Chacornac ne scoprirono 6 caduno, Pogson ne scoprì 7, Hind 10, i fratelli Henry 14, Goldschmidt 15, Borelly 19, Watson 22, C. H. F. Peters 47, M. Wolf 50 circa, Palisa 82, Charlois 100 e più.

Piccola relativamente e largamente compensata dalla fama che procura è la fatica degli scopritori di piccoli pianeti, ben maggiore al confronto e ingrato è il lavoro di calcolo che ogni scoperta richiede. Ogni piccolo pianeta che si scopre è occasione ad una serie di calcoli, i quali, sebbene lunghi e faticosi in sè, non presentano ora più difficoltà teoriche a superare. Sono calcoli che riguardano la determinazione degli elementi dell'orbita, la successiva correzione dei medesimi, le perturbazioni speciali e generali che i pianeti, Giove e Saturno sopratutto, producono nel movimento dei planetoidi, le effemeridi annue e di opposizione. A questi calcóli prendono parte astronomi di tutte le nazioni, gli italiani non esclusi, e ai medesimi sovrintendono da gran tempo l'osservatorio astronomo di Berlino e la redazione dell'Annuario astronomico di Berlino (*Berliner Astronomisches Jahrbuch*). Ma ogni nuova scoperta viene a rendere più grave l'ingente lavoro dato dai planetoidi all'astronomia del secolo nostro, e verrà certamente un giorno in cui il numero dei piccoli pianeti cresciuto a dismisura renderà necessarie alcune misure alle quali da tempo pensano quanti amano dare indirizzo efficace ai lavori degli scienziati.

Zona dei piccoli pianeti.

Forse alla corsa affannosa che oggi gli astronomi calcolatori fanno dietro ad ogni scoperta nuova si sostituirà col tempo una elaborazione sistematica e retrospettiva delle osservazioni di tutti i planetoidi già noti; forse si limiteranno i calcoli ai maggiori fra i piccoli pianeti e a quelli sopratutto che presentano orbite singolari; ma certo è che una deliberazione in proposito l'astronomia del secolo ventesimo dovrà pur prendere, perchè non tutti i piccoli pianeti hanno la fortuna dei 22 scoperti dall' astronomo americano Watson. il quale da uomo pratico e previdente lasciò per l' elaborazione delle orbite loro un patrimonio speciale. Per il momento, sebbene i calcoli richiesti dal numero sempre crescente dei piccoli pianeti sieno davvero ingentissimi, provvedimenti generali non si osano prendere, malgrado le proposte fatte anni sono dalla direzione del *Berliner Jahrbuch*, e ciò perchè molte, e importanti, e insolute sono le questioni che si collegano all' esistenza e allo studio dei piccoli pianeti, sicchè ancor oggi ogni nuova scoperta d'uno fra essi ha una importanza scientifica indiscutibile.

I piccoli pianeti finora noti sono nella zona fra Marte e Giove disseminati in una estensione larga, quando si tenga conto rigoroso delle eccentricità, tre volte circa la distanza che separa la Terra dal Sole, e misurata quindi in numeri tondi da 446 milioni di chilometri. Non sono disseminati però in

modo uniforme, ma si aggruppano in gran numero a distanze medie dal Sole espresse dai numeri 3,73 — 2,75 — 2,67 quando si prenda per unità la distanza media della Terra dal Sole, la quale misura, è noto, 148,7 milioni di chilometri. Ad altre distanze intermedie fra le accennate il numero dei piccoli pianeti conosciuti è minimo, e a queste plaghe relativamente vuote corrispondono movimenti medii le cui velocità hanno un rapporto semplice, espresso cioè da un numero intero con quella di Giove, e sono di questa il doppio o il triplo. È probabile che queste plaghe vuote di piccoli pianeti esistano fin dall'origine, poichè le ultime ricerche fatte escludono che esse possano essere prodotte dalle ulteriori perturbazioni dovute alla massa di Giove.

Fra i piccoli pianeti che si muovono verso l'estremo limite esteriore della zona di spazio per la quale sono disseminati, alcuni hanno elementi orbitali somigliantissimi a quelli di certe comete periodiche, e questo fatto, ulteriormente studiato e più ampiamente conosciuto, potrebbe gettare nuova luce su alcune questioni cosmogoniche, potrebbe confermare il pensiero dell'astronomo Kirkwood, secondo cui le comete di breve periodo sono piccoli pianeti più degli altri influenzati dalla massa di Giove, attingono dalla zona dei planetoidi il proprio materiale, ripetono dall'attrazione perturbatrice di Giove la forma ellittica della propria orbita.

Orbita di Eros.

I piccoli pianeti situati al limite interiore della zona di spazio da essi occupata, quelli in ispecie aventi orbite molto eccentriche, si avvicinano talora di molto alla Terra, e l'osservazione loro da due luoghi di questa, l'uno dall'altro molto distanti, conduce ad una immediata e sicura determinazione della loro parallasse, e ad una determinazione mediata ed altrettanto sicura della parallasse solare e della distanza che separa la Terra dal Sole.

Sotto questo punto di vista merita una menzione speciale il piccolo pianeta Eros (433) scoperto dall' astronomo G. Witt all' Osservatorio Urania di Berlino la sera del 13 agosto del 1898. Le proprietà caratteristiche del suo movimento saltano all'occhio se appena si getta uno sguardo sulla figura annessa e schematica abbastanza chiara per sè. Eros, pure appartenendo al numero dei piccoli pianeti, si muove nello spazio a grande distanza dallo sciame dei medesimi, e l'orbita sua, della quale nel Sistema solare, non si ha altro esempio, giace per la più gran parte entro quella di Marte. Eros, portato dal suo movimento orbitale, si avvicina quindi al Sole ben più che Marte, e si

avvicina alla Terra molto più che ogni altro dei pianeti noti. Mentre fra i piccoli pianeti quelli che più si avvicinano alla Terra ne distano ancora gli 8 decimi del raggio dell' orbita terrestre (119 milioni di chilometri in cifra tonda); mentre e Venere e Marte nella loro vicinanza massima alla Terra restano da questa a distanze che sono ancora rispettivamente i 25 e i 37 centesimi del raggio stesso (37 e 54 milioni di chilometri), il planetoide Eros si avvicina alla Terra fino a solo un decimo del raggio dell'orbita terrestre (15 milioni di chilometri circa).

Anche astrazione fatta dall'orbita singolarissima ed unica di Eros, le orbite dei piccoli pianeti in generale presentano una grande varietà di forme, occupano nello spazio le posizioni più diverse, e formano nel loro insieme un intreccio intricato che contrasta apertamente colle orbite ordinate a distanze ritmiche dei pianeti maggiori. I semigrand'assi loro, presa per unità la distanza media della Terra dal Sole, oscillano fra valori espressi in cifre tonde dai numeri 2 e 4; le eccentricità loro sono diversissime e vanno dal valore 0,02 al valore 0.38. Talune fra esse sono quasi circolari e paragonabili alle orbite dei pianeti maggiori, tali altre prendono forme allungatissime, più allungate assai di quella di Mercurio che fra le orbite dei pianeti maggiori è una delle più eccentriche. Coi loro afelii tengono un tratto di spazio cosmico che in lunghezza supera il raggio medio dell'orbita terrestre; colle inclinazioni loro all' eclittica, che in media sono uguali a 8 gradi ma che salgono fino a 35, escono d'assai fuori dello zodiaco.

Queste orbite dei piccoli pianeti non si rinchiudono l'una l'altra, come avviene ad es. dell'orbita di Venere che abbraccia per intero quella di Mercurio ed è alla sua volta abbracciata dall'orbita della Terra, ma si incontrano e si intrecciano fra loro nel modo il più vario. Ciò malgrado sono numerosi i gruppi di due planetoidi, le cui orbite sono pressochè uguali, situate quasi nel medesimo piano, e differiscono solo per l'orientamento del loro asse maggiore. Tanta dissomiglianza di orbite in generale, tanta somiglianza di alcune fra esse in particolare non possono essere fatti accidentali, e devono essere intimamente legate coll'origine finora ignota dei planetoidi.

I piccoli pianeti compiono il giro della propria orbita in tempi compresi fra anni 3 giorni 3 e anni 8 giorni 313. Durante questi tempi essi passano per distanze diversissime dalla Terra, ma non perdono mai la loro apparenza stellare, nè mai si mostrano sotto forma di un globo o di un disco sensibile. Ne è causa la grande piccolezza delle loro dimensioni reali; sono queste, trattandosi di corpi cosmici, così piccole che la loro misura diretta coi mezzi dei quali l'astronomia può disporre non riesce; da una parte i diametri piccolissimi, dall'altra il fenomeno ottico dell'irradiazione rendono i risultati delle misure dirette più che problematici.

Altra strada si dovè seguire per arrivare a questo riguardo a risultati forse più attendibili. La luminosità dei piccoli pianeti dipende dall'attitudine della superficie loro a riflettere i raggi solari e dal loro volume, quando si consideri come noto l'influsso, facile d'altra parte a calcolarsi, della distanza loro dal Sole e dalla Terra. Se di un piccolo pianeta si conosce il volume e la potenza riflettrice della superficie (albedo) se ne può calcolare lo splendore;

se noti sono invece lo splendore e l'albedo se ne può dedurre facilmente il volume, e quindi il diametro. Questo fu fatto considerando da una parte lo splendore medio osservato dei piccoli pianeti, e supponendo dall'altra l'albedo loro uguale a quella dei pianeti maggiori astrazion fatta da Marte. Se ne trassero risultati di non grande precisione certo, i quali permettono però di affermare che le dimensioni dei piccoli pianeti sono minime, il maggiore fra essi avendo un diametro di 512 chilometri, i minori avendo diametri di 22 e di 15 appena.

Sulla massa dei singoli pianetini non si hanno cognizioni sicure; solo dai calcoli di Le Verrier è risultato che le masse di tutti i piccoli pianeti esistenti, noti ed ignoti, possono insieme unite produrre una massa equivalente al più ad un quarto della massa terrestre. È questo un limite massimo cui esse non potrebbero oltrepassare senza produrre perturbazioni nel Sistema solare, le quali certo non sfuggirebbero alla precisione delle osservazioni odierne.

I volumi dei piccoli pianeti ora noti fanno, insieme uniti, un volume che di poco supera la quattro millesima parte del volume della Terra; si hanno argomenti per pensare che le densità dei planetoidi sono minori della densità terrestre; i nostri 444 piccoli pianeti sono quindi colle loro masse ben lontani da quel quarto della massa terrestre che ne segna il limite massimo, e si può con fondamento affermare che molti piccoli pianeti tuttora sconosciuti percorrono la plaga dello spazio interplanetario loro propria, che la zona dei planetoidi costituisce nel Sistema solare una riserva abbondante di materia cosmica nella quale l'êra delle scoperte non è ancor chiusa.

Paragonati agli altri corpi del sistema del Sole i piccoli pianeti meritano appena il nomignolo di corpuscoli cosmici. Sull'origine loro nulla si sa di certo; suppongono taluni che la materia ond'essi risultano abbia in origine formato un anello simile a quello di Saturno, e che causa le violenti perturbazioni prodotte dalla massa grande e vicina di Giove questo anello possa essersi rotto in piccoli frammenti; nessuno più ammette che i piccoli pianeti possano provenire da un'unica esplosione di un pianeta antico, ma pensano alcuni non essere improbabile che a una prima esplosione del grande pianeta originario, esplosioni diverse e successive dei suoi frammenti sieno seguite, e che ad esse appunto debbansi i planetoidi; non mancano coloro i quali dubitano, a dir vero con scarso fondamento, che i piccoli pianeti non esistano da tempo indeterminato e vadano invece continuamente formandosi; secondo taluni essi sono gli uni dagli altri indipendenti affatto; opinano altri che essi formano nello spazio tanti piccoli gruppi speciali.

La verità si è che per il momento a tutte le questioni appena accennate non si può dare risposta scientificamente precisa e categorica, che molto rimane ancora ad escogitare intorno a questi corpuscoli dei quali il numero ogni giorno cresce. Riusciremo noi ad esaurire colle scoperte nostre la serie dei piccoli pianeti esistenti? Mancano gli elementi ad una risposta. Gli ultimi pianetini scoperti sono tutti assai più deboli di splendore e di dimensioni più piccole che i primi trovati. Ad essere visti, richiedono cannocchiali potenti, e la scoperta loro devesi a rifrattori di non meno che 30 centimetri d'apertura. Ma nulla osta a che nuovi e più forti cannocchiali, maggiormente acuendo l'occhio umano, non possano mostrare e nuovi, e innumerevoli, e sempre meno splendenti planetoidi.

II.

Il pianeta Nettuno: Teoria del pianeta Urano — Anomalie dimostrate da Bouvard nel movimento di questo pianeta — Causa di queste anomalie e scoperta del pianeta Nettuno — U. Le Verrier — G. C. Adams — Orbita di Nettuno — Sua teoria — Sue tavole — Suo spettro — Suo satellite.

La scoperta di Nettuno è uno dei trionfi più notevoli dell'astronomia matematica, ed una delle principali scoperte astronomiche del secolo decimonono. Nell'anno 1781 Guglielmo Herschel (1738-1822) scoperto aveva il grande pianeta Urano, e gli astronomi tosto notavano che esso era già stato osservato quale stella fra il 1690 e il 1771. Nel 1821, quando 40 anni erano trascorsi dalla sua scoperta e di esso si avevano osservazioni numerose, l'astronomo francese A. Bouvard (1767-1843) prese a elaborare quella che chiamasi la teoria del nuovo pianeta.

Si determina con ogni precisione l'ellissi matematica che un pianeta, obbedendo alla sola attrazione del Sole, descrive intorno a questo; si calcolano tavole per mezzo delle quali si può determinare per ogni istante dato di tempo la posizione del pianeta in questa ellissi; si determina l'influenza che gli altri corpi del Sistema solare esercitano colla loro attrazione su quel pianeta; si cacolano tavole per mezzo delle quali facilmente si arriva a determinare l'influenza di queste attrazioni secondarie sulla posizione che il pianeta prenderebbe ove obbedisse solo all'attrazione del Sole; si offre per tal guisa il modo di determinare per ogni istante di tempo la posizione vera del pianeta nello spazio, posizione che naturalmente deve coincidere con quella data dalle osservazioni. Tutto questo costituisce la teoria di un pianeta.

G. C. Adams.

Ora avvenne a Bouvard di non poter mai far coincidere i risultati della sua teoria con quelli dell'osservazione. Vide e rivide la teoria, e si persuase della sua esattezza; ma mentre la teoria stessa benissimo rappresentava le osservazioni degli ultimi 40 anni, non corrispondeva poi a quelle fatte nel periodo corso fra il 1690 ed il 1771. La difficoltà era insuperabile, ed egli con criterio giusto e severo conchiuse colle seguenti parole, che io qui trascrivo per la loro importanza storica: « je laisse au temps à venir le soin de faire connaitre si la difficulté de concilier les deux systèmes tient réelement à l'inexatitude des observations anciennes, ou si elle dépend de quelque action étrangère et inaperçue, qui aurait agi sur la planète ».

In queste parole di Bouvard è tracciato un problema, che per un quarto di secolo occupò le menti di tutti gli astronomi. L'onore della sua risoluzione appartiene all'astronomo francese Urbano Le Verrier (1811-1877). Egli dalle anomalie osservate nel movimento di Urano risalì alla causa che le aveva potuto produrre; si persuase che questa risiedeva in un pianeta ancora ignoto, aggirantesi attorno al Sole ad una distanza da questo quasi doppia di quella di Urano; calcolò la posizione di questo pianeta fra le stelle del cielo: la comunicò a G. Galle, allora astronomo all'osservatorio di Berlino, e fu tanto profondo, preciso, fortunato ne' suoi calcoli che questi, la sera del 13 settembre del 1846, trovò alla distanza di un grado, il doppio circa del diametro apparente lunare, da quella preveduta il nuovo pianeta.

Orbita dei Pianeti superiori.

La scoperta e più che tutto il modo di essa fece un grande rumore; il nome di Le Verrier salì a ragione in grandissima fama, ed intanto un altro uomo sommo provava il dolore più grande, il disinganno più amaro che scienziato al mondo forse mai abbia sentito. G. C. Adams, matematico ed astronomo inglese, già nel 1844 lavorava intorno alla teoria di Urano, e nell'ottobre del 1845 scriveva a G. B. Airy, astronomo Reale d'Inghilterra e direttore dell'osservatorio di Greenwich, una lettera nella quale, affermando che le irregolarità del movimento di Urano potevano derivare da un nuovo pianeta ad Urano esteriore, dava ad un tempo di questo nuovo e supposto pianeta gli elementi, e di ciò non pago analoga comunicazione faceva a G. Challis, astronomo di Cambridge, il quale per parte sua proponevasi di cercare il nuovo astro fra le stelle del cielo.

Se Airy e Challis avessero avuto confidenza intera nei calcoli di Adams è certo che a questi sarebbe appartenuta per sempre la gloria della nuova scoperta, ma essi guardarono i risultati di Adams con una diffidenza mal celata, ad Adams non prestarono tutta la loro energica cooperazione, e solo quando Le Verrier ebbe cominciata la pubblicazione delle sue ricerche, quando si avvidero che i risultati di Le Verrier coincidevano quasi esattamente con quelli di Adams, a loro noti da più che sette mesi, sorsero a rivendicare per

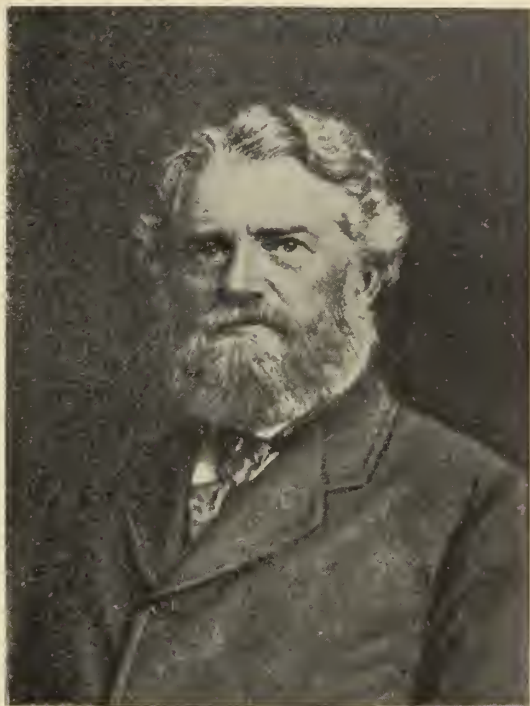
il loro concittadino l' onore di tanta scoperta. Era troppo tardi; il campo era preoccupato, e lo era da un tal uomo che non se ne sarebbe certo mai lasciato scacciare. Le Verrier fu a ragione tenuto come il vero scopritore del nuovo pianeta, e ad Adams rimase la gloria di avere egli pure contemporaneamente a Le Verrier e nella tranquilla solitudine del suo studio risolto il problema posto agli astronomi dalle irregolarità del moto di Urano.

Il nuovo pianeta fu chiamato Nettuno, e la sua distanza media dal Sole, supposta dapprima dietro la legge di Bode uguale a 38 raggi dell'orbita terrestre, è in realtà di poco superiore a 30 (30,05508), ed equivale a 4468 milioni di chilometri; la sua orbita è quasi esattmente circolare, l'eccentricità essendo espressa dal numero 0,00896; il piano in cui esso si muove è inclinato al piano dell'eclittica di 1° 47' 2"; a percorrere l'immensa orbita sua impiega 165 anni circa (164^a 285^g 15^h 0^m 43^s).

S. Newcomb.

Fra le stelle Nettuno ha un moto apparente lentissimo, e si presenta come un dischetto pallido, largo appena 2,7 secondi d' arco, di color verdognolo, uniformemente luminoso; nel contorno del suo disco non potè finora essere constatata forma ovale sensibilmente diversa dalla circolare, nè sulla superficie sua furono viste o striscie diversamente luminose, o macchie.

Osservato allo spettroscopio Nettuno produce uno spettro debolmente luminoso, sul quale ogni misura riesce singolarmente difficile, e nel quale saltano all'occhio tre larghe zone oscure, una fra il verde e il giallo, l'altra presso la riga b, la terza nella regione azzurra; somiglia molto allo spettro di Urano; l'uno e l'altro spettro dimostrano che questi due ultimi fra i pianeti del sistema solare risplendono essi pure per luce solare riflessa, ma sono circondati da un'atmosfera potente della quale i materiali ci sono ignoti finora, ma nella quale i raggi luminosi del sole soffrono un assorbimento speciale e caratteristico.

La teoria del movimento di Nettuno fu insieme a quella di Urano elaborata ultimamente dall'astronomo americano Simone Newcomb, e le tavole da lui pubblicate nel 1875 sono ora universalmente usate. Se si prende per unità la massa del Sole, la massa di Urano è uguale a 1 diviso per 22760, quella di Nettuno a 1 diviso per 19500; se si prende per unità la massa della terra, le masse di Urano e di Nettuno sono espresse rispettivamente dai numeri 14,6 e 17,0; se si prende per unità il diametro della terra quello di Urano diventa uguale a 4,64 quello di Nettuno a 4,31; sotto ogni punto di vista i due grandi pianeti si rassomigliano, e direbbonsi quasi gemelli.

Attorno a Nettuno finora fu scoperto un solo satellite, e lo fu nell'agosto del 1847 da Lassell. Esso muovesi intorno al pianeta ad una distanza media apparente di 16.3 minuti secondi d'arco, compie la sua rivoluzione in circa 6 giorni ($5^g\ 21^h\ 5^m\ 51^s$), è più facilmente osservabile che non i satelliti di Urano, e pare questi superi d'assai in grandezza. Nessun altro satellite pare graviti attorno a Nettuno, e le ricerche fatte da Newcomb non accennano all'esistenza di un nuovo ed ignoto pianeta transnettuniano.

III.

Le Comete: Grandi comete del 1858, del 1861, del 1862, 1874, del 1880. del 1881, del 1882, del 1887. — Moto delle comete nello spazio — Luce delle comete — Spettro luminoso delle comete — Materiali onde risultano le masse delle comete — Loro tenuità — Teoria delle code delle comete — D'onde vengano le comete — Numero delle comete — Sistemi di comete — Comete periodiche — Captura delle comete — La cometa di Encke e l'etere resistente — La cometa di Biela e il frantumarsi delle comete — Probabile dispersione continua e progressiva dei materiali delle comete — Prime osservazioni di comete.

Le comete sono una delle occupazioni costanti delle specole e degli astronomi, e intorno ad esse le cognizioni nostre, durante il secolo XIX, progredirono di molto.

Non tutte le comete raggiungono grande splendore. Molte, la più gran parte anzi, sono invisibili ad occhio nudo e telescopiche: ma splendenti furono tutte quelle registrate dalle cronache, e vedute a cominciare dall'antichità fino all'invenzione dei cannocchiali (secolo decimosettimo); splendenti furono le comete degli anni 480, 431, 410, 373, 348, 118, 86, 44, avanti Cristo; splendenti furono quelle degli anni 69, 400, 875, 1402, 1456, 1472, 1577, 1585, 1607, 1618, 1619, dell'êra volgare; grandi e splendenti brillarono nel secolo XIX le comete del 1807, del 1811, del 1835, del 1843, del 1858, del 1861, del 1862, del 1874, del 1880, del 1881, del 1882, del 1887.

Dire di tutte queste comete ad una ad una sarebbe troppo lungo, e proprio più di una cometografia che della rassegna presente, ma di alcune fra esse, di quelle a noi più vicine, è giocoforza parlare, dalle osservazioni delle medesime molto avendo l'astronomia moderna appreso.

Il giorno 2 giugno del 1858 G. B. Donati trovò a Firenze una cometa, che rimase visibile dagli orizzonti terrestri fino al primo marzo del 1859. Dapprincipio fu bianca, tonda, piccola, a contorno irregolare, e accessibile solo ad occhio armato di cannocchiale. Verso la fine dell'agosto divenne discernibile ad occhio nudo, e la forma sua fu quella di un disco circolare risultante di due parti ben distinte, l'una centrale, lucentissima (nucleo), l'altra (chioma) tenue, diffusa, pallida, svolgentesi come aureola attorno alla prima. Nei primi giorni di settembre la chioma cessò di essere simmetrica attorno al nucleo, prese ad estendersi nella direzione opposta al Sole, e a formare lungh'essa direzione una striscia nebbiosa, diffusa, tenue (coda) il cui splendore, sempre più debole a distanze crescenti dal nucleo, finiva per perdersi nella luce generale del cielo. La cometa parve allora completa, formata di nucleo, di chioma e di coda. A poco a poco la coda si spinse a distanze sempre maggiori dal nucleo e diventando lunga si incurvò; crebbe fino a misurare il giorno 5 di ottobre

35 gradi, fino a misurarne 60, la terza parte del grand'arco celeste che posa sull'orizzonte, il giorno 10. In un sol giorno la lunghezza sua salì da 35 a 50 gradi; in meno di tre, dal 12 al 15 di ottobre, discese da 45 a 15; diminuì in seguito a gradi a gradi fino a sparire fra il 3 e il 6 di dicembre, e allora la cometa ridivenne telescopica.

Nel 1861, in sul principiare di giugno, a Sydney, a Santjago, a Rio de Janeiro, a Williamstown, fu veduta una splendida cometa, la cui coda misurava 30 gradi il giorno 7, 40 il giorno 11. Si muoveva rapidissimamente attraverso le stelle del cielo, e il giorno 30 di giugno, scomparsa agli osservatori dell'emisfero australe, sorse improvvisa sopra gli orizzonti di Europa, e si mostrò in tutto il suo splendore straordinario la sera, tosto tramontato il Sole. Quel giorno ad Atene il corpo suo apparve grande come la luna; la sua coda prese 120 gradi, due terzi dell'arco di circolo massimo del cielo; tanta fu la sua luce, che produsse ombra.

Nel luglio del 1862 fu scoperta all'osservatorio di Firenze una cometa, che presto divenne visibile ad occhio nudo, e che sui nostri orizzonti splendè dal 22 di luglio al 14 di settembre. Singolari e specialmente notevoli furono i fenomeni presentati dalla sua coda, intorno ai quali meglio e più che ogni descrizione parlano all'occhio e alla mente i di segni che riproduciamo.

Cometa del 1807.

La sera del 17 aprile del 1874 l'astronomo Coggia a Marsiglia trovò una cometa nella Giraffa, costellazione boreale, chiusa tutta all'ingiro da quelle di Cassiopea, di Cefeo, dell'Orsa minore e dell'Orsa maggiore. Nei mesi di aprile, di maggio e di giugno, il suo movimento fu lentissimo, ed essa percorse nel cielo, al lontanandosi dal polo ed avviandosi verso l'equatore, brevissimo tratto apparente misurato da pochi diametri lunari. Nel mese di luglio si mosse ancora assai poco nel verso dell'ascensione retta, ossia si mantenne quasi esattamente in un medesimo circolo massimo della sfera celeste passante per il polo, ma prese ad avvicinarsi rapidamente all'equatore. In questa sua corsa rasentò l'Orsa maggiore, attraversò le costellazioni della Lince, dei Gemelli, del Cancro, del Cane minore, passò l'equatore nella costellazione del Lioncorno, e frammezzo alle stelle del Lioncorno e della Nave Argo si spinse nell'emisfero australe del cielo. Dapprincipio la cometa apparve come un disco a contorni netti e decisi, formato dal nucleo e dalla chioma; negli ultimi giorni di maggio, quasi getti perlacei lanciati dalla chioma, cominciarono a vedersi le prime traccie della coda, e lentamente questa si spinse in seguito a distanze sempre maggiori dal nucleo. Verso la fine del giugno la coda misurava già più di tre gradi, sei volte circa il diametro apparente della luna; nelle prime sere del luglio bella, intensamente luminosa, poteva seguirsene sul fondo del cielo la traccia, anche ad occhio nudo, per più di sette gradi, e verso la metà di luglio, quando la cometa portata dal suo rapido movimento cessò di essere visibile agli occhi degli abitanti

Cometa del 1858.

dell'emisfero boreale della terra, la sua coda lunghissima splendente misurava trenta e più gradi. Il suo nucleo e la chioma sua passarono per isconvolgimenti profondi, quali appena si potrebbero immaginare, e quali si osservano nella più gran parte delle grandi comete. Non sarebbe a dir vero possibile ridurre a sistema i fenomeni presentati dai nuclei e dalle chiome cometarie, poichè in una stessa cometa nucleo e chioma passano per lo più strane trasformazioni, ed in alcuni momenti la massa loro, tutta sossopra, prende un aspetto caotico, poichè ancora da una ad un'altra cometa nucleo e chioma variano indefinitamente sì nell'insieme loro che nei dettagli. La natura però, come il genio, sa nelle esplicazioni sue riescire varia ed una, ed anche nelle agitazioni mutabili all'infinito delle masse delle comete diverse una certa analogia esiste, sì che da quello che in una succede si può argomentare quello che nelle altre si è osservato. Sono bellissimi e istruttivi al sommo i disegni delle trasformazioni successive della cometa Coggia fatti dal compianto astronomo Guglielmo Tempel, e noi li riproduciamo quali essi furono pubblicati dall'osservatorio di Milano.

Nel 1880 all'osservatorio di Cordoba (repubblica argentina) il giorno 2 di febbraio apparve improvvisamente in cielo, cessato il crepuscolo, una grande cometa. Il suo capo toccava l'orizzonte ad occidente, la sua coda si ergeva diritta da esso e

si proiettava sul fondo del cielo come un immenso arco di luce. Prendeva 40 gradi del cielo apparente, ed era in tutta la sua lunghezza larga tre volte circa il diametro apparente lunare; aveva una luce uniforme, non viva, in tutta la sua estensione. Poco mutò nei giorni seguenti; il giorno 14 la coda sua era ancor lunga 37 gradi, la chioma appariva come una massa bianca e informe; il 19 tutto era mutato; e chioma e coda appena si potevano discernere da un occhio esercitato ed armato di cannocchiale sotto forma di una pallida macchia bianca.

Verso la fine del maggio del 1881 una splendida cometa fu veduta quasi contemporaneamente da più luoghi dell' emisfero australe dalla terra, da Windsor in Australia, dal Capo di Buona Speranza, da Cordoba nella Repubblica argentina, da Rio de Janeiro. Aveva un rapido movimento verso nord. La sera del 12 giugno fu vista per l' ultima volta a Melbourne; la sera del giorno 8 fu osservata per la prima volta a DunEcht in Inghilterra; verso la fine di giugno brillava sui nostri orizzonti, e, diminuita in seguito di splendore, continuò ad essere osservata negli osservatorii del nostro emisfero fin dopo la metà di ottobre. Fu rono incessanti e rapide le trasformazioni per le quali dal 22 al 27 di giugno passò l' intera sua massa; caratteristico fu il fragmentarsi del suo nucleo. Nella notte del 6 luglio questo fu visto scindersi improvvisamente in due parti, sicchè per un certo tempo la cometa apparve doppia.

Vari aspetti della cometa del Donati, a poche ore didistanza.

La grande cometa del 1882, straordinaria per più di un rispetto, rimarrà memorabile negli annali dell'astronomia. Per l'intenso splendore e per le apparenze sue trova un degno termine di confronto solo nella cometa più splendida del secolo decimonono, quella del 1843 alla quale si riferisce uno dei nostri disegni. Fu osservata dal giorno 8 di settembre del 1882 fino al primo di giugno del 1883; caratteristiche furono le circostanze del movimento suo nel settembre; il giorno 17 essa era ad ovest del sole e ad esso si avvicinava: il 18 risplendeva ancora ad ovest del sole, e da esso si allontanava. Fra il 17 e il 18 essa aveva col suo moto contornato il sole, aveva percorso, mantenendosi a qualche distanza da esso, 180 gradi del suo contorno; non vi fu un urto reale dei due astri; essi, quantunque press'a poco su una stessa visuale per chi li guardava dalla terra, erano però a non piccola distanza l'uno dall'altro; la cometa affogò, senza sparire, senza interrompere o cambiare il moto suo, nel profondo strato di materia e di luce che circonda il sole.

L'ultima delle grandi comete del secolo nostro fu quella del 1887: noi non la vedemmo, e l'osservarono solo gli astronomi dell'altro emisfero: in pochi giorni si estricò dal profondo spazio universo divenendo repentinamente visibile, vi si rituffò offuscandosi. Fu vista ad occidente, dopo tramontato il sole, la sera del 18 gennaio, e la si potè seguire solo fino alla sera del

27. Si può dire che fu una cometa tutta coda. Il 18 di gennaio, di questa coda non vedevasi il principio; cominciava bruscamente con una larghezza apparente di circa 15 minuti primi d'arco, la metà circa del diametro apparente lunare, e si proiettava in cielo lunga, sottile, brillante, d'una luce bianca, argentea; il 21, la parte più bassa della cometa essendo alta 5 gradi sull'orizzonte, non fu possibile vedere traccia di nucleo e di concentrazione nucleare; al posto del nucleo si vedeva una massa vaporosa di quasi 30 minuti primi di diametro, dalla quale partiva la coda sempre lucida, sottile, esile, lunga 25 e più gradi. Il 22, il 23 e il 24 di gennaio continuò assoluta la mancanza di nucleo; la coda apparve più lucente, più lunga, a contorni ben definiti, e prendeva più che 40 gradi del cielo; il 25, rapidissimamente, la lunga coda brillante diminuiva di splendore, e due giorni dopo, il 27, la cometa era oramai debolissima, quasi impossibile a distinguersi anche coll' occhio armato di cannocchiale. A Cordoba, a Melbourne, a Adelaide, a Capetown, a Windsor le strane apparenze sue furono descritte in modo identico.

Tutto colpisce l'immaginazione nelle comete; la indefinita varietà delle loro apparenze e delle trasformazioni delle masse loro, il carattere singolare e peculiarissimo dei loro movimenti, nè v'è a stupire se esse, ancora in sul principio del secolo XIX, fossero considerate come uno degli arcani cosmici più oscuri.

Le comete vanno pel cielo senza direzione apparentemente determinata; alcune si muovono da mezzogiorno verso settentrione, altre da nord verso sud; alcune vanno da oriente ad occidente, altre in direzione affatto opposta; moltissime prendono direzioni intermedie a queste principali. Non si muovono in modo uniforme e costante; a tratti accelerano, a tratti ritardano il loro movimento; qualche volta cambiano bruscamente la direzione del moto, e tale che tendeva verso oriente, si arresta, declina verso mezzogiorno e riprende infine il suo cammino diretta ad occidente. Direbbesi che esse errino a caso attraverso alle stelle del cielo, ma sappiamo oggi, e ce l' insegnò Newton, che l'apparente confusione del loro andare è una conseguenza del loro movimento reale combinato con quello contemporaneo della terra, ossia dell'occhio dell'osservatore. Le comete si muovono attorno al sole così come i pianeti; le orbite loro sono come quelle dei pianeti ellittiche; il sole è posto in un fuoco comune alle orbite degli uni e delle altre, e fra tutte queste orbite non v'è che differenza di eccentricità. Mentre i pianeti si muovono in orbite prossimamente circolari, pochissimo o solo mediocremente eccentriche, le comete si muovono in orbite fortemente ellittiche ed eccentriche, in orbite tali cioè, che il sole occupa in esse una posizione dissimmetrica, assai lontana dal punto centrale. Le orbite dei pianeti quali più quali meno si rassomigliano e coi loro piani poco si discostano da quello dell'eclittica; i piani delle orbite cometarie prendono tutte le posizioni possibili nello spazio, e nel proprio piano ogni orbita si dispone diversamente rispetto al sole. In ogni punto dell'orbita loro i pianeti possono diventare visibili; le comete, per la massima parte, diventano visibili solo in quel tratto della loro orbita che è più prossimo al sole, e nei rimanenti tratti tanto da questo si allontanano che sono invisibili; sono tanto eccentriche le orbite cometarie che il breve loro tratto

Grande cometa del 1861.

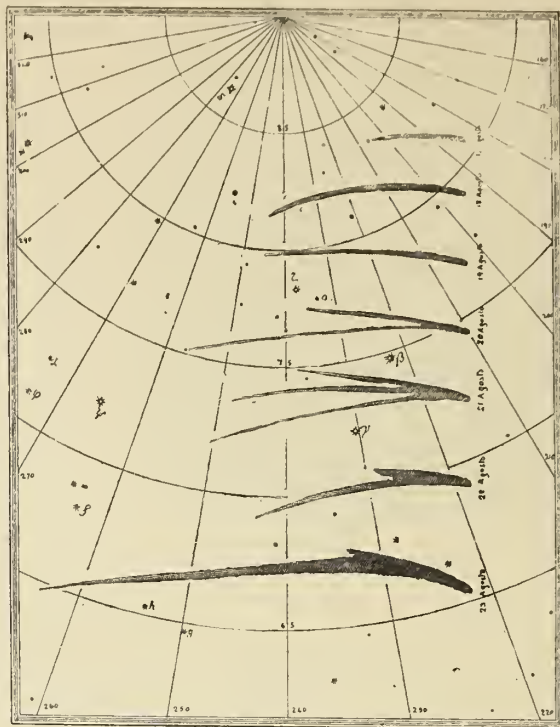
prossimo al sole può essere scambiato con un tratto di parabola avente ancora il sole per fuoco.

Più che il moto vero delle comete fu difficile da sgrovigliare il nodo della luce loro, e della natura dei materiali ond' esse risultano. Ci si riuscì col mezzo dell' analisi spettrale.

Quando si ripensa alle grandi metamorfosi per le quali passa il corpo delle comete, difficilmente si riesce a immaginare come le medesime possano avvenire, senza svolgere contemporaneamente calore e quindi luce, e si viene naturalmente condotti ad ammettere nelle come una luce propria, quand' anche debolissima. L' analisi spettrale conferma questo concetto. Le comete splendono infatti molto per luce riflessa imprestata dal sole, ma in parte anche per luce propria, la quale ha i caratteri tutti della luce emessa dai gas o dai vapori che bruciano. La luce delle loro chiome esaminata allo spettroscopio si risolve in un debole spettro continuo difficilissimo a vedersi, associato ad uno spettro marcato, discontinuo, costituito da tre tratti luminosi, uno giallo, l'altro verde, il terzo azzurro, separati da lunghi intervalli apparentemente oscuri. Lo spettro continuo è quello prodotto dalla luce solare riflessa, il discontinuo è proprio appunto di masse gassose portate allo stato di incandescenza e di luminosità propria.

Vari aspetti della cometa del 1861, a sei giorni di distanza.

Per gran tempo tutte le comete osservate diedero lo stesso spettro discontinuo, quale appare nella nostra tavola degli spettri luminosi, e poichè questo spettro è identico a quello degli idrocarburi, se ne inferì che le comete tutte sono probabilmente formate dagli identici matierali, e che in esse poverissima è la varietà dei materiali stessi. Vennero la cometa prima del 1881 e la grande

cometa del 1882 a modificare queste idee per qualche anno universalmente accettate. Nello spettro della prima comparvero distinte le righe lucide del sodio incandescente, i soliti tratti lucidi impallidirono fino a sparire, e al posto di essi si ebbe uno spettro continuo ben marcato. Nello spettro della seconda, appena ebbe essa passato il proprio perielio comparvero distintissime molte righe lucide, fra le altre quelle del sodio ed alcune del ferro; comparve distinto lo spettro continuo; ma allontanatasi la cometa dal perielio, impallidirono e presto scomparvero sì le righe lucide che lo spettro continuo, per dar luogo all' ordinario spettro di tutte le comete. La complessità dei materiali onde le comete risultano, la grande azione che sovr' essi il sole esercita ottennero per tal modo una dimostrazione inappellabile, e se lo spettro delle comete in generale accusa solo l'esistenza degli idrocarburi, ciò avviene perchè l'azione del sole sovra i imateriali diversi onde le comete risultano raramente rag-giunge il grado necessario di intensità.

Cometa del 1862.

Questi materiali sono nelle comete in istato di grande rarefazione. È poco probabile infatti che i nuclei stessi delle comete sieno masse solide compatte, tanto grandi sono i cambiamenti, tanto repentine le trasformazioni osservate in essi. Non è ancora abbastanza dimostrato che essi sieno assolutamente fluidi e trasparenti, ma certo è che la densità loro è minima, e che, attesa la loro dimensione sempre piccolissima rispetto a quella dell'insieme che forma le comete, minima ne è pure la massa. Le chiome, dalle quali le comete prendono il nome, hanno struttura irregolare e mutabile, nè mai appaiono uniformemente luminose, ma attraverso ad esse qualche volta si sono viste stelle punto affievolite, e la luce delle stelle, attraversandole, o non subisce deviazione o ne subisce una minima. Sulla terra non conosciamo gas tanto tenue che non abbia influenza sulla luce che lo attraversa, e più tenui che il nostro più tenue gas sono per conseguenza tutte le chiome delle comete e probabilmente le comete stesse, dal momento che le chiome costituiscono di ogni cometa la parte essenziale e caratteristica. Si son viste comete senza traccia di nucleo; moltissime comete, la più gran parte delle teloscopiche, passano senza mostrar coda, ma comete senza chioma non furono osservate mai.

Tenuissima è la materia che forma le code, le quali si distaccano dalla chioma, e si spingono a grandissima distanza nello spazio, in generale seguendo

la direzione della retta che congiunge il sole al capo della cometa (raggio vettore) in quel tratto che è opposto al sole. Diversissime forme, indefinitamente varie esse assumono; strani sono i commovimenti intestini delle loro masse, rapidissime le variazioni e le trasformazioni; d' un tratto si formano; in pochi giorni, talora in poche ore, scompaiono; tutto in esse è maraviglioso e enigmatico, il come si generino, il come susistono, il come finiscono. Si fecero nel secolo nostro intorno ad esse pubblicazioni molte e preziose, fra le quali dal punto di vista storico val la pena di notare e per il valore e per la data loro quella di Olbers sulla cometa del 1811, quella del celebre Federico Guglielmo Bessel sull' apparizione della cometa di Halley nel 1835. In grazia delle medesime si può oramai affermare che le code sono un getto vero e reale delle masse cometarie, che esse sono formate di materiali, i quali sebbene tenuissimi obbediscono alle leggi ordinarie del movimento, si può, non senza fondamento, ritenere ancora che esse sono prodotte da una ripulsione probabilmente elettrica, esercitata dal sole sulle particelle loro.

Sovra questi principii e sovra la dimostrata complessità dei materiali costituenti alcune comete si fonda una teoria delle code cometarie elaborata da Bredichin, direttore dell' osservatorio di Mosca, e dalla più gran parte degli astronomi accettata, come quella che pel momento meglio risponde allo stato delle cognizioni nostre. Secondo la medesima, le comete, avuto riguardo alla forza di ripulsione che sovr' esse il sole esercita, si possono tutte ridurre a tre classi. Nelle comete della prima classe la forza ripulsiva del sole è 14 volte più grande della sua attrazione, e le code sono diritte e lunghissime. Nelle comete della seconda classe la forza ripulsiva del sole è di poco superiore alla sua attrazione; caratteristiche di queste comete sono code corte, larghe, ventaglio. Nelle comete della terza classe la forza ripulsiva del sole assume valori che oscillano fra uno e tre decimi della sua forza d'attrazione; le code di queste comete sono getti brevi, fortemente incurvati, a contorni netti e decisi. Le code della prima classe risultano da idrogeno, quelle della seconda classe sono formate da idrocarburi, il ferro costituisce il materiale delle code appartenenti alla terza classe; in ciascuna delle classi l'idrogeno, gli idrocarburi, il ferro, possono essere rispettivamente sostituiti da altri materiali di analogo peso atomico. Non di rado alcune comete, le grandi sovratutto, presentano code complesse, formate di code caratteristiche di ciascuna delle classi enunciate. Sono comete formate di materiali diversi, sui quali il sole esercita una diversa azione ripulsiva;

Eruzioni del nocciolo della cometa del 1862 il 23 agosto, a 1 ora di mattino.

Idem alle 2 di sera.

sono comete di costituzione fisica complessa, da che in sè radunano i materiali di tutte le altre.

Dovrebbe scrivere un volume ponderoso chi volesse riferire anche solo per sommi capi l'ingente lavoro fatto dagli astronomi del secolo nostro intorno ai molti problemi che colle comete hanno attinenza, ma alcuni fra i risultati ottenuti hanno tale importanza che sarebbe colpa tralasciarli in una rassegna per quanto rapida dei progressi astronomici.

Per gran tempo, seguendo le idee di Laplace, si ritenne essere le comete piccole masse erranti fra stella e stella, le quali allorchè pervengono nella parte dello spazio, dove l'attrazione del sole è predominante, prendono a descrivere attorno al sole orbite speciali, divenendo così a noi visibili. Secondo Laplace e i seguaci suoi le comete sono quindi corpi originariamente estranei al sistema solare, attratti nell'interno di esso dalla massa potente del sole. Si ritiene invece ora dai più che le comete formano fra le stelle fisse e gli altri corpi estraplanetarii un sistema distinto, di cui tutti i membri accompagnano il sole nel suo moto proprio attraverso gli spazii stellati. È questa un'ipotesi fra noi efficacemente sostenuta dall'astronomo G. Schiaparelli, e secondo la medesima le comete non sono corpi estranei al sistema solare, ma accompagnano da ogni tempo il sole e tutti i pianeti in quel movimento di traslazione attraverso agli spazii indefiniti del cielo, cui le osservazioni hanno con ogni rigore dimostrato, e allorquando, per essere più o meno veloci del sole, raggiungono una maggior vicinanza a questo, prendono a descrivere, da sso attratte, orbite quasi paraboliche e in esse divengono a noi visibili.

Grandissimo deve essere il numero delle comete esistenti nel sistema del sole. Dall'anno 612 a. C. all'anno 1599 dell'èra nostra si hanno notizie di 455 comete viste tutte ad occhio nudo; durante il secolo XVII sono 27 le comete registrate nelle cronache e viste tutte esse pure ad occhio disarmato; nell'anno 1729 fu vista la prima cometa telescopica, e durante il secolo XVIII furono osservate 69 comete, 33 delle quali telescopiche; nel secolo nostro non passò anno senza che in media si osservassero da due a tre comete, sicchè sommano oggi a 700 e più le comete delle quali gli astronomi possono scrivere la monografia. La maggior parte di queste comete hanno il perielio che cade o nello spazio fra Mercurio e il Sole, o in quello fra Venere e Mercurio, oppure in quello fra la Terra e Venere; per poche fra esse il perielio cade fra Marte e la Terra, per pochissime fra Marte e Giove, non molto al di là di Marte, per nessuna al di là di Giove. Non v'è ragione al mondo la quale valga a dimostrare che molte e molte comete non si muovano negli spazii interplanetarii fra Giove e Saturno, fra Saturno e Urano, fra Urano e Nettuno, e se esse non riescono mai visibili, egli è che le comete in generale diventano tali solo in quel tratto dell'orbita loro che è più prossimo al sole, e che questo tratto attiguo al perielio, per le comete situate nella plaga che si estende da Giove a Nettuno, è a troppa distanza dal sole, perchè l'azione di questo possa in esse eccitare l'energia termica necessaria a renderle visibili agli abitanti della terra.

Un facile calcolo di probabilità, partendo dal numero delle comete note e osservate, guida per induzione a quello delle comete verosimilmente esistenti,

e quanto più cresce il numero delle comete note, anche astrazion fatta per il momento dalle radiazioni meteoriche delle quali si discorrerà in un prossimo capitolo, tanto più e in proporzione geometrica cresce il numero di quelle che la nostra mente può con fondamento ammettere nel sistema del sole. Il vecchio concetto, che sul principio del secolo XIX riteneva le plaghe immense, le quali separano l'uno dall'altro i grandi pianeti, vuote e soggiorno di una quiete e solitudine assoluta, più non regge. Il sistema al quale noi apparteniamo è ben più complesso e più ingombro di quanto si potesse pensare non molti anni or sono. È corso, ricorso in ogni suo punto e per ogni direzione certo da milioni, forse da miriadi di corpuscoli che il nostro occhio non vede, ma dei quali l'intelletto e la scienza ci dànno persuasione fondatissima.

Nè, sì numerose comete esistono e si muovono negli spazii celesti come corpi isolati l'uno dall'altro indipendenti. È un fatto oramai indubitabile che alcune e diverse comete costituiscono dei gruppi o sistemi, nei quali una prefetta analogia di rapporti geometrici accenna con evidenza ad una anteriore connessione fisica. L'esistenza di questi sistemi di comete fu dapprima messa in qualche luce dalle ricerche dell'astromo Hoeck, direttore dell'osservatorio di Utrecht, pubblicate negli anni 1865 e seguenti. Egli dimostrò in esse che, in un ragguardevole numero di casi, le orbite di due, tre comete si intersecano lungi nello spazio in uno stesso punto, ciò che permette di pensare con fondamento che quelle due, tre comete formarono altra volta un unico corpo, od ebbero almeno una identica origine. Nessun sistema cometario, ad es., è più certo di quello formato dalla cometa del 1807, dalla cometa terza del 1881 dalla grande cometa del settembre del 1882, e dalla grande cometa australe del 1887. Esse girano attorno al sole in orbite simili, aventi tutte distanze perielie piccolissime, e formano sotto questo punto di vista un vero sistema, al quale non è improbabile che altre comete appartengano. Esse passarono tutte attraverso alla parte esteriore della *Corona* solare, senza patir danno visibile o perturbazioni sensibili del loro movimento; esse mostrarono tutte una costituzione fisica molto complessa.

G. B. Donati.

Un gruppo degnissimo di considerazione è quello delle comete così dette periodiche. Sono comete che si muovono entro orbite relativamente anguste e di dimensioni paragonabili a quelle dei pianeti. Esse, pur diventando, come le altre, visibili solo quando percorrono il tratto di loro orbita più vicino al sole, ripassano per questo tratto a non lunghi intervalli di tempo, ridivenendo periodicamente visibili. Le si dicono appunto perciò periodiche, ed in questo momento il numero loro sale alla dozzina; sono desse: la celebre cometa di

Halley, la prima che siasi riconosciuta periodica, la quale nelle sue apparizioni diventa visibile ad occhio nudo, e riappare a periodi di 75 anni circa; la cometa di Encke con periodo di tre anni e un terzo, il più breve fra i periodi noti; la cometa di Biela con periodo di circa anni sei e mezzo; la cometa Faye con periodo di 2718 giorni, poco più di sette anni; la cometa di De Vico con periodo di 1993 giorni, cinque anni e mezzo circa; la cometa di Brorsen con periodo di poco più che cinque anni e mezzo, 2032 giorni; la cometa di D' Arrest con periodo di poco più che sei anni, 2330 giorni; la cometa di Winnecke con periodo di circa cinque anni e mezzo; la cometa di Tuttle con periodo di anni 13,6. Tutte queste comete, ad eccezione della De Vico, sono state più volte vedute al loro passaggio per il perielio, e di esse il periodo fu ad un tempo dimostrato dal calcolo e confermato dai fatti. Il calcolo per molte altre comete ha ugualmente dimostrata l'elitticità dell'orbita; delle medesime molte hanno un periodo di rivoluzione lunghissimo, e per esse la periodicità è solo probabile, la riapparizione assai problematica; poche, sebbene osservate finora in uno solo dei loro passaggi al perielio, hanno una periodicità meglio constatata e più verosimile. Tali sono, per limitarsi alle più importanti, la cometa prima del 1866 che ha un periodo di anni 33,2; la cometa seconda del 1862 il cui periodo è di 121 anni; la cometa di Olbers che secondo Bessel ha un periodo di 74 anni; la cometa del 1846 (De Vico) di cui il periodo fu calcolato uguale ad anni 73,7; la cometa di Pons che secondo i calcoli di Encke ha un periodo di 70 anni.

Oramai è fuori di dubbio che le comete periodiche del nostro sistema solare tali divennero in grazia dell' azione perturbatrice dei pianeti sui loro movimenti; sono comete state costrette a muoversi nell' attuale orbita loro dall'attrazione sovr'esse esercitata da qualcuno dei pianeti maggiori, e le quali subirono quello che oggi usa chiamarsi *captura* di un grande pianeta. Quando una cometa entra nel sistema del sole con una velocità sensibilmente parabolica, e, portata dal suo movimento, viene a passare vicino ad un pianeta, la velocità del suo moto diventa per l'azione attraente della massa di questo o minore o maggiore. Nel primo caso l'orbita da parabolica si trasforma in ellittica, e la cometa, quasi catturata dal pianeta, rimane a far parte integrante del sistema del sole. Nel secondo caso l'orbita si trasforma in iperbolica, e la cometa fugge per uno dei rami dell'iperbole lungi dal nostro sistema, si sprofonda nello spazio, nè al sistema del sole più fa ritorno. Sono a dir vero pochissime le orbite iperboliche osservate, ma le comete, che per esse prendono a muoversi, sfuggono probabilmente all'osservazione, o perchè passano a distanze perielie grandi, o perchè rapidamente oltrepassano il perielio delle proprie orbite e più rapidamente ancora si allontanano dal sole. Sono invece numerose le comete di cui le orbite calcolate sono certamente ellittiche, e queste comete periodiche sono, appunto come vuole la teoria della loro origine or ora accennata, distribuite in gruppi che corrispondono ai maggiori pianeti, ciascun gruppo appartenendo a quel pianeta che colla sua massa ne determinò la captura.

Caratteristico e degli altri più numeroso è il gruppo delle comete periodiche corrispondente al pianeta Giove; tutte le comete di esso, senza ecce-

zione, hanno moto diretto ed orbite pochissimo inclinate al piano dell'orbita di Giove; i punti che segnano la loro maggior distanza dal sole, il loro afelio, cadono vicini all'afelio di Giove, e, ciò che è più importante, uno dei punti in cui ciascuna di esse interseca il piano dell'orbita di Giove è generalmente molto vicino alla traiettoria di questo pianeta. In generale i gruppi di comete periodiche hanno medie distanze afelie approssimativamente uguali al semiasse maggiore dell'uno o dell'altro dei pianeti. L' astronomo L. Schulhof prese a considerare le comete note, aventi periodi fra 10 e 10.000 anni, e trovò che quattro comete hanno distanze afelie, le quali poco differiscono dalla distanza afelia di Mercurio, e costituiscono per conseguenza il gruppo di questo pianeta, che il gruppo di Venere contiene sette comete, che i gruppi della Terra, di Marte, di Giove, di Saturno, di Urano, di Nettuno risultano rispettivamente di 10, di 4, di 23, di 9, di 8, di 5 comete. L'importanza speciale che in questa distribuzione delle comete periodiche hanno le distanze massime dal sole, ossia le distanze afelie, dipende da ciò che nell'afelio le velocità di moto sono le minime, e le masse dei pianeti hanno quindi maggior tempo di esercitare la loro azione perturbatrice.

Cometa del 13 giugno 1869.

Fra le comete di breve periodo, quelle di Encke e di Biela diedero luogo a discussioni cosmiche di tale importanza che meritano una considerazione speciale.

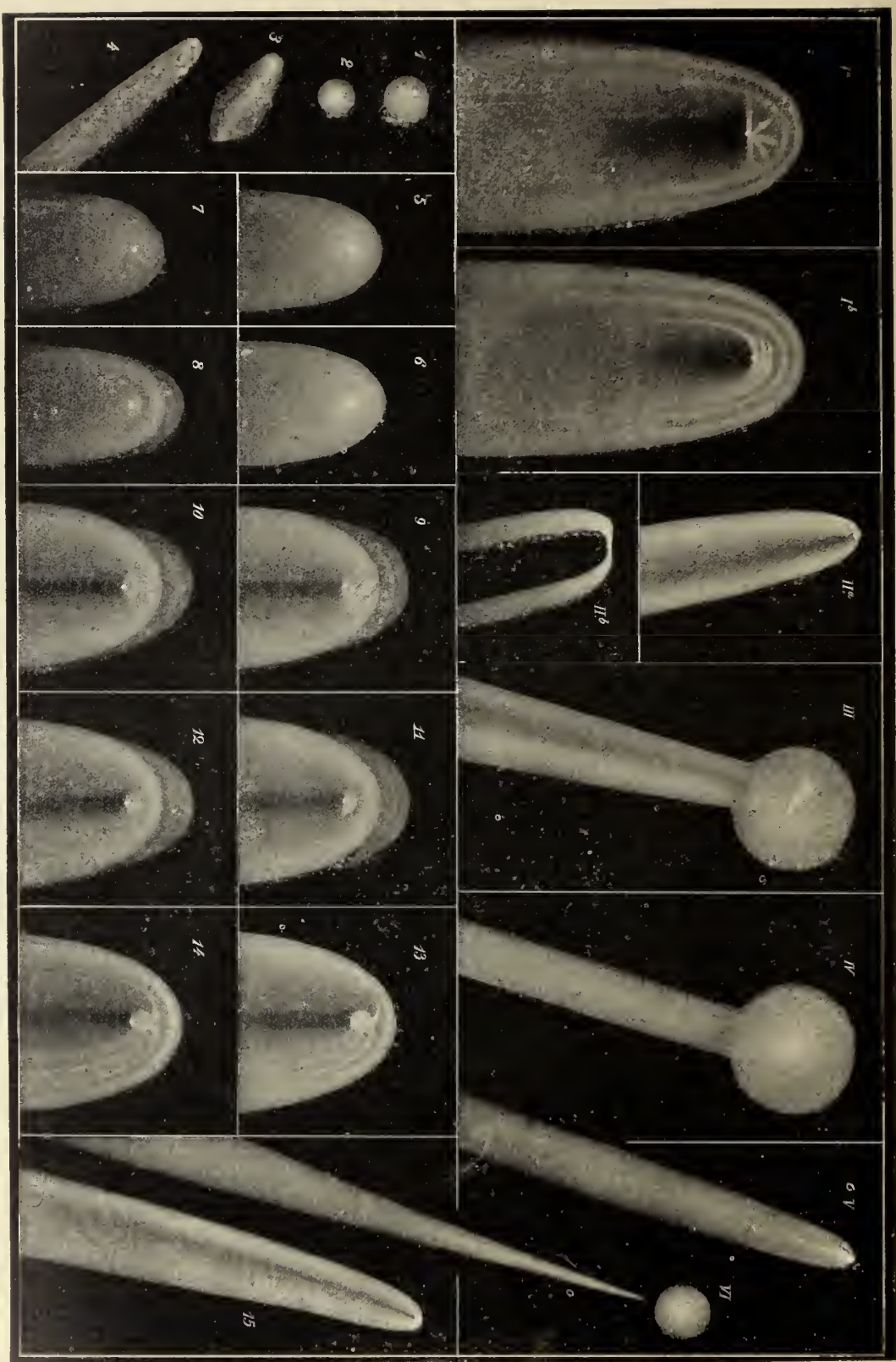
La cometa di Encke ha questo di rimarchevole che il suo periodo di rivoluzione diminuisce a poco a poco, e che il suo movimento medio va accelerandosi con legge non uniforme; nel periodo 1871-1881 l' accelerazione del movimento suo fu meno che metà di quella trovata dagli astronomi Encke e Asten nelle indagini fatte sul periodo 1819-1865. Per qualche tempo queste anomalie di movimento furono attribuite all' azione di un mezzo resistente tenuissimo, del quale si ammetteva fossero ripieni gli spazî interplanetari, e del quale si ammetteva ancora che la densità andasse rapidamente crescendo verso il centro del Sistema. Di questa ipotesi si invaghì Alessandro Humboldt, ed essa raccomandata dai nomi a ragione celebrati di Olbers e di Encke, gli autori suoi, vestita della forma splendida e immaginosa propria di Humboldt si fece rapidamente strada, fu universalmente ripetuta e data, specialmente nei libri popolari, come una verità scientifica. Ma oramai all'esistenza di questo mezzo resistente, ammesso da Olbers, da Encke, da Humboldt, non si può più credere, tal colpo diede ad esso la grande cometa del 1882. Essa affogò, può dirsi, nel profondo strato di materia luminosa che circonda il sole; le circostanze del suo movimento, e prima e dopo il suo passaggio attraverso a plaghe vicinissime al Sole, furono attentamente studiate, e rinvenute in per-

fetta armonia fra loro. La grandissima prossimità del sole non produsse sul moto della cometa perturbazione sensibile, e questo certamente non sarebbe avvenuto, se il mezzo resistente supposto da Encke esistesse, tanto più che questo mezzo, nelle vicinanze del sole e nella regione attraversata dalla cometa del 1882, avrebbe una densità molto maggiore di quella, che ad esso viene attribuita nella regione perielia della cometa di Encke. Già Bessel dubitato aveva, fin dal giorno in cui Encke fece pubblica la sua ipotesi, che essa, sebbene matematicamente plausibile, fosse conforme a natura. Molte e molte cause si possono escogitare capaci di spiegare l'accelerazione del movimento medio della cometa di Encke, e, dietro i calcoli di Oppolzer, della cometa di Winnecke. L'effluire dei materiali raccolti nella chioma delle comete, e l'effluire in modo dissimmetrico da quella parte soltanto che è rivolta al sole basterebbero perfettamente a ciò. Tutti i fenomeni osservati nel capo delle comete al loro approssimarsi al sole devono pure avere una qualche influenza perturbatrice del moto, e in essi potrebbe benissimo risiedere la causa della perturbazione notata da Encke. Nello stato attuale delle cognizioni nostre non si può determinare fra tutte queste cause perturbatrici, quale sia, nel caso concreto delle comete di Encke e di Winnecke, la vera. Di esse si può appena dubitare, ma esse tutte sfuggono e si sottraggono ugualmente ad un calcolo rigoroso. Le leggi secondo le quali succede l'effluire, il zampillare quasi dei materiali dal capo delle comete sono ignote, e ignote sono le variazioni incommensurabili che avvengono nella costituzione delle comete al loro approssimarsi al sole. Queste cose scriveva il sommo Bessel nel 1836 ed esse sono ancora oggi conformi al vero.

Guglielmo Bessel.

La cometa di Biela fu vista nelle sue apparizioni del 1772, del 1806, del 1826, del 1832, e la sua massa telescopica non presentò mai fenomeni degni di menzione speciale. Durante la sua apparizione del 1845-46 improvvisamente si sdoppiò, pur non mostrando notevoli perturbazioni di moto; nel 1852 le due comete gemelle, frammenti della cometa primitiva, tornarono a riapparire, seguendo la strada preventivamente determinata dal calcolo, ma erano in quell'anno deboli di splendore e la reciproca distanza loro era aumentata d'assai; dopo il 1852 la cometa di Biela avrebbe dovuto riapparire cinque

volte, ma ogni volta fu cercata invano, sicchè della sua sparizione non si può oramai dubitare. Altre comete furon viste sdoppiarsi, rompersi anzi in più frammenti, quella ad es. del 1618, quella del 1652, la cometa Liais del 1860, la cometa quinta del 1889, e questo frantumarsi delle comete non può riuscire interamente inaspettato a chi ripensa ai grandi commovimenti delle masse cometarie nelle vicinanze del sole, e al formarsi stesso delle code. Sono tutti fatti del medesimo ordine, e che portano naturalmente a riflettere su quello che delle comete avverrà dopo il loro passaggio al perielio.

È difficile immaginare in qual modo le particelle lanciate, nella formazione delle code, a milioni di chilometri dal nucleo possano in seguito tornare ad aggrupparsi attorno al medesimo, ed è più naturale ammettere che esse vadano piuttosto disperse nello spazio. Le dimensioni dei nuclei diminuiscono dopo il passaggio delle comete al perielio; la cometa splendida di Halley apparve ad ogni suo ritorno sempre meno splendente, e seguita da code sempre minori; la cometa di Encke diventa di volta in volta più difficile ad osservare; la cometa di De Vico sparve senza lasciare traccia di sè; scomparve dopo diverse apparizioni la cometa di Biela; di altre comete periodiche il ritorno, precalcolato con ogni precisione, fu invano atteso; di parecchie comete può dirsi che formarono altra volta un unico corpo, sì perfetta è l'analogia dei loro rapporti geometrici. Tutti questi fatti raccolti con osservazione paziente e tenace durante il secolo che sta per chiudersi, portano a pensare con fonda-

Successive trasformazioni della cometa di Coggia (1874).

mento che le comete periodiche, dopo una lunga successione di rivoluzioni, debbano ridursi al nulla; e che continua e progressiva debba con ogni probabilità essere la dispersione dei materiali delle comete in generale.

Molto gli astronomi del secolo XIX lavorarono intorno alle comete; molto appresero, ma molti dei fatti che riguardano la costituzione fisica e lo svolgersi delle comete restano tuttora inesplicabili. L' osservazione ne verrà col tempo a capo, l'osservazione paziente e rigida però, quella che si fa una legge di non obbedire mai a concetti aprioristici, e che rispetto ai fatti notati confessa ingenuamente di non saperne dare la spiegazione piuttosto che menomamente alterarli, o ricorrere per la spiegazione loro ad abili combinazioni di parole, a formole vaghe, indeterminate, altrettanto oscure che i fenomeni stessi.

A proposito delle osservazioni di comete gli astronomi del tempo nostro vollero ben precisare quando e da chi siano esse state per la prima volta fatte. I Greci e i Romani, dividendo essi in generale la falsa opinione di Aristotile che considerava le comete semplici meteore atmosferiche, non ritennero le apparizioni loro degne di essere registrate nelle storie. Molte e importanti notizie intorno alle comete trarre si possono dalle cronache antiche cinesi e dalle nostre medioevali, ma son notizie le quali non meritano il nome di osservazioni propriamente dette, tali potendo ritenersi quelle soltanto da cui sia possibile trarre non indicazioni e descrizioni vaghe ed indeterminate, ma valori numerici abbastanza precisi delle coordinate che determinano la posizione di una cometa nello spazio. Si ritennero e dagli stranieri si ritengono ancora per prime le osservazioni di Regiomontano e di Walther, ma chi scrive il presente lavoro potè altrove dimostrare che il vanto di aver fatto per primo vere osservazioni di comete spetta al fiorentino Paolo Dal Pozzo Toscanelli, celebre per le sue lettere cosmografiche a Cristoforo Colombo e per il grande gnomone collocato nella Cattedrale di Firenze. Dalle osservazioni di Toscanelli ho potuto dedurre le orbite delle comete apparse negli anni 1433, 1449, 1456, 1457, e 1472.

IV.

Le stelle cadenti: Prime osservazioni di cadenti — Risultati delle osservazioni fatte durante la prima metà del secolo XIX — Difficile loro spiegazione e insufficienti teorie diverse immaginate — L'anno 1866 e la teoria atronomica delle stelle cadenti — Sciami meteorici — Radianti — Organizzazione delle osservazioni di cadenti nell'ultimo trentennio del secolo XIX — Stelle cadenti di straordinario splendore — Bolidi — Se cadenti e bolidi sieno o non una stessa cosa rimane per il momento insoluto.

Nel 1783 Masckelyne da Greenwich scriveva a Cesaris, astronomo di Brera, quanto segue: « aggradite un piccolo stampato, che recentemente pubblicai, per esortare i dotti e gli indotti ad osservare con qualche maggior cura le meteore ignee dette bolidi; forse risulterà che sono comete. Non sdegnate di spendere alquanta fatica in questa cosa che mi sembra di grande momento, come quella che può condurre a progressi nella filosofia naturale, fors'anche nella stessa astronomia ». Queste parole di uno dei più rinomati astronomi dell' epoca sua dimostrano abbastanza quanto allora fossero trascurate le osservazioni delle stelle cadenti, sulla natura delle quali si andavano facendo discussioni erudite, ma vane appunto perchè non abbastanza fondate sulla diretta osservazione dei fatti. Si avevano sull' importante argomento non cognizioni dimostrate ma solo opinioni; non si sapeva nemmeno con certezza se le cadenti fossero d' origine cosmica, oppure si formassero subitamente nelle alte regioni sia per deflagrazione di idrogeno, come credeva il Volta, sia per concrezione istantanea di vapori terrestri e specialmente di vapori vulcanici come altri sostenevano.

Angelo De Cesaris.

La verità si è che vere osservazioni sulle stelle cadenti cominciarono solo nel 1798, quando Brandes e Benzenberg seppero con misure corrispondenti e simultanee dimostrare: che esse non diventano visibili negli spazi planetari; che esse non arrivano all'altezza degli astri, neppure a quella della luna l'astro più vicino; che si accendono nelle regioni più elevate della nostra atmosfera ad altezze le quali di rado oltrepassano 180 o 220 chilometri; che raramente discendono più basso di chilometri 70 o 90; che compiono la loro corsa luminosa in una regione dove l'aria è estremamente rarefatta, anzi, dove, secondo certe opinioni ora antiquate, non vi avrebbe dovuto più essere aria.

Nel secolo nostro le osservazioni delle stelle cadenti non furono più trascurate, che anzi in alcuni periodi esse ebbero cultori numerosi ed appassionati. Fu dalle osservazioni della prima metà del secolo XIX dimostrato:

che le stelle cadenti cadono veramente, cioè piovono dall'alto al basso; che la velocità loro è la più grande di cui si abbia esempio nei corpi materiali terrestri; fu dietro le medesime congetturato: che il nucleo o il substrato di tutte le apparenze loro è un corpo solido; che col loro rapido muoversi nell'atmosfera resistente esse sviluppano il calore necessario alla loro conflagrazione e alla luce loro; che inoltre certe cadenti sono periodiche e ogni anno ritornano press'a poco verso la stessa epoca, press'a poco, perchè il loro periodo non è l'anno tropico del calendario civile, ma l'anno siderale, cioè quel tempo, alquanto più lungo dell'anno tropico, che la terra impiega a fare un giro intiero nella sua orbita attorno al sole.

Notevoli fatti furono a riguardo delle cadenti messi in bella evidenza nel 1833, in occasione della gran pioggia meteorica di quell'anno. Fu allora osservato che la sua data, 12 novembre, coincideva esattamente con quella della gran pioggia meteorica osservata da Humboldt in Cumana il 12 novembre del 1799, e se ne conchiuse che le meteore del novembre hanno una periodicità diversa dall'annuale, che presentano periodi di intensità massima i quali ritornano solo a distanze di anni ed anni, fatto importantissimo, dimostrato in seguito anche per altre pioggie meteoriche da Quetelet, delle osservazioni di cadenti molto benemerito. Fu allora osservato ancora che le stelle appartenenti alla pioggia meteorica del novembre paiono divergere tutte da un punto unico e meglio da uno spazio ristretto della sfera celeste (radiante), da quello irradiando verso tutte le direzioni, fatto confermato per tutte le pioggie meteoriche dalle osservazioni posteriori, da quelle di Heis e di Greg in ispecie, le quali dimostrarono inoltre che il radiante segue la sfera celeste nel suo movimento diurno, e che diversi osservatori, collocati a distanze anche grandissime sulla superficie della terra, vedono in un dato istante una stessa radiazione procedere dal medesimo punto del cielo e dalle medesime stelle.

Questo insieme abbastanza complesso di fatti, alcuni dei quali accennano indubbiamente all'origine cosmica delle cadenti, ai quali un altro non meno notevole se n'aggiunse in seguito, quello della ineguale frequenza oraria, riuscì difficile ad essere spiegato.

Dapprima si suppose che la terra, muovendosi nello spazio intorno al sole, incontrasse nei giorni di pioggie meteoriche periodiche degli ammassi di materia cosmica molto rara fermi, fissi in quel luogo dell'orbita terrestre dalla terra attraversato. Ma quest'ipotesi di masse immobili relativamente al sistema planetario, già per sè medesima poco o niente probabile, poichè nel mondo tutto si muove, cadde di fronte alle dimensioni enormi che ad esse masse si sarebbe dovuto assegnare, data la grande velocità delle cadenti e data la lunga durata delle apparizioni loro.

Si suppose allora che le masse stesse circolassero intorno al sole al modo dei pianeti, e che ciascuna di esse girasse in un'orbita propria così collocata da intersecare l'orbita della terra in un punto determinato. Questa ipotesi dovuta a Olmsted spiegava perfettamente la grande pioggia dimeteore del 1833; il ritorno simultaneo della terra e dell'ammasso cosmico nel punto comune delle orbite loro era la causa dell'avvenuta pioggia di fuoco, la quale nasceva appunto dall'incontro della terra coll'ammasso cosmico, dal penetrare dei

corpuscoli di questo nell'atmosfera terrestre, e dalla rapidissima loro corsa attraverso alla medesima. Pugnava ancora contro a queste nubi vaganti di Olmsted l'enorme vastità che bisognava loro assegnare, perchè la terra, malgrado il suo cosmico movimento orbitale, potesse per giorni e giorni soggiornare entr'esse, ma, quando fu constatato per non poche pioggie meteoriche un periodo annuale, l'ipotesi di Olmsted perdette molto della sua verosimiglianza. Essa richiedeva l'esistenza di altrettanti ammassi cosmici quante sono le pioggie meteoriche ricorrenti ogni anno, e richiedeva inoltre che gli ammassi stessi si rivolgessero tutti attorno al sole nel periodo di un anno, oppure in un periodo di un anno esattamente submultiplo.

Furono così gli astronomi grado grado condotti a supporre che la materia meteorica, invece di essere riunita in una o parecchie masse, fosse invece distribuita su tutta l'orbita percorsa dalle meteore, in modo da formare lungh'essa un anello o armilla continua, girante intorno al sole in forma di un fiume o di una corrente che ritorna in se medesima. Con questa supposizione delle correnti annulari si spiega facilmente e perfettamente la periodicità annuale di una stessa pioggia luminosa, e l' idea dell' esistenza degli anelli meteorici fece molta strada specialmente intorno al 1839, grazie a una Memoria celebre sulla forma e sulla posizione degli anelli stessi pubblicata in quell'anno dal professore Erman di Berlino. Per un quarto di secolo, dal 1839 al 1864, la teoria astronomica delle stelle cadenti rimase ferma nel concetto degli anelli di materia rara circolanti intorno al sole, ma poco si svolse e progredì, sebbene fondata sopra principii astronomici incontestabili. Richiedeva essa per adattarsi ai fenomeni osservati, per essere con vantaggio pratico applicata alla spiegazione delle peculiarità di ogni singola pioggia meteorica, la cognizione esatta delle velocità con cui le meteore relative cadono sopra la terra, e queste velocità non si poterono mai determinare con precisione sufficiente per mezzo di osservazioni dirette.

Fu tale l'ostacolo incontrato a procedere per la via segnata da Erman, che non pochi cominciarono a disperare si potesse mai per essa pervenire a nozioni sicure, sanzionate dal consentimento universale, e di nuovo inclinarono verso la da tempo abbandonata teoria atmosferica, secondo cui le stelle cadenti devono considerarsi come il risultato di qualche processo meteorologico speciale. Continuarono Olmsted, Biot, Humboldt a mantenere viva la tradizione cosmica, sforzandosi di dare alle orbite delle nubi o delle correnti meteoriche forme speciali, in modo che esse nel loro insieme venissero a costituire un grande ammasso di forma schiacciata simile ad una lente col centro nel sole, e cogli orli estesi nel piano delle orbite planetarie fino a toccare l'orbita della terra, ma altri si posero invece a escogitare sul serio per le stelle cadenti teorie meteorologiche, e in Francia divenne popolare una teoria di Coulvier-Gravier, la quale ancora nel 1865 era largamente diffusa, e presumeva di ricavare dalle osservazioni delle stelle cadenti la spiegazione di non pochi fenomeni atmosferici, e perfino la predizione del tempo.

Tale era lo stato delle cose e delle menti, quando nel 1865 il professore Newton di Newhaven riuscì a stabilire con molta probabilità, contro l'opinione fin allora prevalente, che le orbite delle meteore non sono prossi-

mamente circolari come quelle dei pianeti, ma si avvicinano invece a quelle delle comete, e quando nel 1866 l'astronomo italiano professor G. Schiaparelli riuscì a dimostrare non più con molta probabilità ma con certezza: che le orbite descritte dalle stelle meteoriche nello spazio sono analoghe per natura, forma e disposizione alle orbite delle comete: che la velocità assoluta delle meteore, quando percuotono l'atmosfera della terra, è generalmente assai prossima alla velocità che corrisponde al moto parabolico intorno al sole, e sta alla velocità della terra nella sua orbita nella proporzione di 141 a 100: che certe comete sono associate a certe pioggie meteoriche in modo da descrivere con esse nello spazio orbite identiche: che infine molto probabilmente le meteore sono il prodotto della dispersione dei materiali che formano le masse delle comete.

G. Schiaparelli.

La dimostrazione di queste verità notabilissime cambiò la faccia della scienza delle meteore, e per la prima volta la pose su basi solide, vere e incrollabili. Sarebbe contrario alla verità storica l'affermare che delle verità stesse non esistessero traccie anteriori nei libri astronomici e scientifici. Cardano aveva assimilato ad una cometa il gran bolide, del quale più centinaia di pietre caddero sul territorio di Crema il 4 settembre 1511. Keplero, guidato forse da una superficiale analogia di apparenze, aveva riguardate alcune stelle cadenti come altrettante piccole comete. Halley pensato aveva che una materia rara, disseminata per gli spazii celesti venisse a concentrarsi in caduta continua sul sole, ed incontrando la terra producesse il fenomeno delle stelle cadenti. Chadni in un'opera insigne aveva, in sul principio del secolo nostro, cercato di connettere colle comete la generazione delle meteore ignee. Il professore americano D. Kirkwood esprimeva nel 1861 sulla relazione di origine fra le comete e le meteore opinioni precise, categoriche, al vero vicinissime. Ma dire od affermare per via di analogia una cosa, avere di un principio scientifico una intuizione felice, esprimere opinioni al vero molto vicine, non è ancora dare del vero una dimostrazione ineccepibile, la quale convinca e conquida gli intelletti, chiuda per sempre in un dato argomento l' êra delle opinioni, e crei rispetto al medesimo quel consentimento universale delle menti che è la vera caratteristica delle verità della scienza. Nelle antiche narrazioni le meteore cosmiche vengono descritte come comete e confuse con esse; a Cardano e a Keplero certi bolidi, e certe cadenti parvero comete; Halley, Chladni, Kirkwood ed altri opinarono che un' intima

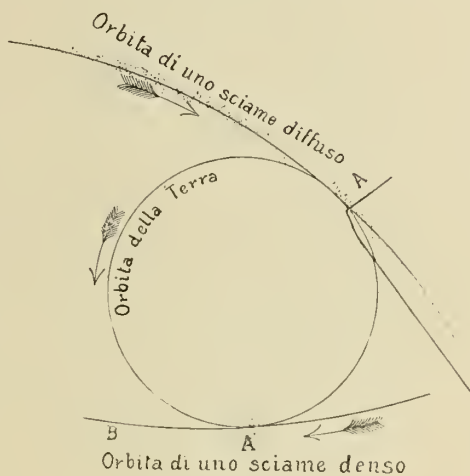
relazione dovesse esistere fra le cadenti e le comete, ma Schiaparelli primo dimostrò la velocità parabolica delle stelle cadenti, l'identità delle orbite percorse dalle cadenti e dalle comete, e il merito d'aver creata una vera teoria astronomica delle stelle cadenti è tutto suo.

Carattere di ogni teoria degna di tal nome è che essa, oltre allo spiegare tutti i fatti noti, diventa guida sicura a scoprirne di nuovi, risolvendo via via le difficoltà che necessariamente solleva una più ampia e completa cognizione dei fatti. Tale all'atto pratico mostrò di essere la teoria escogitata dallo Schiaparelli; alla luce che da essa emana tutto che alle cadenti appartiene ricevette una spiegazione facile e convincente.

Le cadenti ordinarie di ogni giorno costituirono fino al 1866 un argomento di insuperabile difficoltà. Un osservatore ne conta da 10 a 12 in un'ora, ma il loro numero reale è ben maggiore. Se un astronomo potesse col suo sguardo tutta contemporaneamente abbracciare la volta celeste, è ammesso che in un'ora vedrebbe in media da 30 a 40 cadenti; se con un solo sguardo si potesse tutta abbracciare la superficie della terra, il calcolo insegna che il numero delle cadenti visibili in un'ora sarebbe almeno 10.000 maggiore. In ogni ora quindi da 300 a 400 mila, in ogni giorno da' 7 a 10 milioni di cadenti, astrazione fatta dalle telescopiche, passano sugli orizzonti terrestri. Queste cadenti ordinarie ogni notte osservabili paiono divergere ognuna da un diverso punto del cielo, e sporadiche furono perciò dette. Meglio studiandole, si capì però che la lora sporadicità è solo apparente, che dipende da ciò che ogni notte si ha un certo numero di radianti dai quali meteore divergono, e che la moltiplicità dei radianti produce appunto l'apparente disordine delle traiettorie percorse delle diverse cadenti visibili.

Orbite di comete e di sciami meteorici.

La ragione sta in ciò che le cadenti vanno a sciami: talora a sciami relativamente densi e serrati, analoghi, astrazion fatta dalle dimensioni, agli sciami di moscerini che d'estate si vedono nella nostra atmosfera; talora a sciami diffusi che non di rado occupano tutto l'anello disegnato dalla loro orbita, e formano così attorno al sole una corrente continua che ritorna in sè medesima. Le orbite percorse dai diversi corpuscoli di uno stesso sciame non di rado incontrano l'orbita descritta ogni anno dalla terra, e se avviene che sciame e terra vengano a passare contemporaneamente per questo punto

in cui le orbite rispettive si tagliano, uno scontro succede. I corpuscoli dello sciame penetrano nell'atmosfera terrestre, col loro rapido muoversi attraverso ad essa resistente sviluppano il calore necessario alla loro conflagrazione, si accendono di luce viva, e, divenendo visibili, a noi appaiono come stelle che tramutino loco. Se lo sciame meteorico incontrato dalla terra è molto diffuso, o se la terra lo attraversa secondo una delle sue dimensioni minori, il numero delle stelle cadenti a cui esso dà luogo è piccolo; se lo sciame è denso, serrato, e se la terra lo attraversa in pieno, allora succede una pioggia di cadenti analoga a quelle, a memoria di molti dei viventi, avvenute nelle notti dal 13 al 14 novembre del 1866, dal 27 al 28 novembre del 1872 e del 1885, nelle quali il numero delle meteore, che infiammandosi divennero visibili, salì a decine di migliaia in un'ora. Pioggie di fuoco, pioggie nel senso vero della parola, in quanto in esse, come nelle pioggie d'acqua, le linee percorse dalle diverse goccie, sieno esse perpendicolari o inclinate rispetto all'orizzonte, sono esattamente parallele fra loro. Ogni notte numerosissimi sciami percorrono gli spazii attigui alla terra, ogni notte molti degli sciami stessi incontrano la terra, e questi, se rari, danno origine a poche stelle, alle cadenti apparentemente sporadiche, se densi o diversamente densi, danno origine a pioggie meteoriche di diversa intensità, alle pioggie mediocri e comuni, alle pioggie rarissime che potrebbero dirsi un diluvio di meteore luminose.

Nè più difficile è rendersi ragione delle pioggie di cadenti periodiche, sia poi il periodo loro uguale ad uno o più anni. Immagini il lettore due cerchi, due anelli di diametro sensibilmente diverso che si tocchino in un punto A. Supponga che lungo il cerchio minore si muova, tutto percorrendolo in un anno, la terra, e che lunghesso il maggiore, impiegando a percorrerlo intiero un tempo assai più grande di un anno, si muova uno sciame di corpuscoli meteorici, e consideri a parte il caso in cui lo sciame è tenue, diffuso lunghesso tutto il proprio anello, e il caso in cui lo sciame denso, serrato occupa solo una piccola porzione dell' anello stesso. In un dato giorno e terra e sciame si trovano in A; succede uno scontro, e dallo scontro si estrica una pioggia di cadenti. Trascorre un anno e la terra torna a passare per il punto A. Se lo sciame è diffuso lunghesso tutto il suo anello, la terra trova nel punto A nuovi corpuscoli dello sciame stesso, e ad un anno di intervallo la pioggia si riproduce. Se lo sciame è denso, serrato, la terra ripassando dopo un anno per A, più non vi trova lo sciame trasportato nel frattempo dal proprio movimento in un altro punto B della sua orbita; ogni anno la terra ripassa per A in quel dato giorno, ma prima che in A torni ad incontrarvi il denso sciame delle meteore, dando così origine ad una seconda pioggia di cadenti, devono trascorrere 20,30 . . . anni se uguale a 20,30 . . . anni è il periodo di rivoluzione dello sciame.

Pubblicata la teoria vera e astronomica delle stelle cadenti, le osservazioni loro presero un indirizzo sicuro e determinato, nè in seguito furono un sol momento neglette. Ad esse si attese con ardore sì in Europa che in America, ed esse furono specialmente dirette a determinare con precisione i radianti e le diverse forme loro, a raccogliere il maggior numero possibile di fatti i quali servir potessero a perfezionare le antiche indagini e a fare ricerche ulteriori.

In Italia per iniziativa del professor Schiaparelli e del padre Denza e sotto la direzione di quest' ultimo fu tosto nel 1867 organizzato un sistema d' osservazioni che ancor oggi dura, e al quale concorrono osservatori d' ogni regione. In Inghilterra un' associazione speciale da tempo attende in epoche determinate ad osservazioni simultanee delle cadenti, e osservazioni analoghe furono ben presto organizzate dall'Associazione scientifica francese. In America alle ordinarie osservazioni dirette si sono in questi ultimi anni sostituite in stazioni molteplici, sotto l' impulso del professore Pickering, osservazioni fotografiche; in America e in Francia, in certe notti di importanti e speciali pioggie periodiche, ad evitare l'ostacolo di un cielo annuvolato, si osò salire al di sopra delle nubi e si tentarono osservazioni fatte in palloni areostatici. Anche lo spettroscopio fu applicato alle cadenti, ed esso dimostrò in alcune di queste l'esistenza di materiali gassosi incandescenti, di vapori di sodio e di magnesio in ispecie, in altre l' esistenza ad un tempo di materiali gassosi e di particelle solide incandescenti. Le code luminose furono trovate generalmente composte di corpi portati dall' altissima temperatura allo stato di gas in ignizione, non sempre però tanto che alcuna volta non appaia manifesta l'esistenza in esse di pulviscoli incandescenti. I nuclei apparvero talora come corpi intieramente vaporizzati, tal altra diedero l'idea di corpi solidi incandescenti. Da questo vasto e ingente lavoro uscirono molte e pregiate pubblicazioni, delle quali appena potrebbe dar conto un grosso volume destinato a una monografia delle cadenti, ma nessun fatto veramente nuovo e saliente fu per esso posto in luce. Non v' è a meravigliarsene. Dopo il 1866 siamo entrati nel periodo meno splendido, ma pur necessario, in cui, con osservazioni pazienti e precise, i fatti vogliono essere accumulati a fatti, allo scopo di dare basi sicure e sperimentali alle indagini avvenire.

Francesco Denza.

Qualche volta si osservano grandi meteore di lunga corsa, le quali lasciano striscie luminose di considerevole ampiezza e durata, e le quali son viste da

Stelle cadenti di straordinario splendore.

tratti vastissimi di paese. Esse non sono che stelle cadenti più splendide delle altre, e che penetrano negli strati atmosferici in direzione estremamente obliqua talora quasi parallela all'orizzonte, facendo per conseguenza negli strati medesimi più lunga dimora.

Qualche volta un corpo luminoso di dimensioni sensibili, quasi un globo di fuoco, attraversa con velocità mutabile lo spazio, gettando da ogni parte luce vivissima e lasciando dietro a sè uno strascico vivo, lucente, che persiste uno, due minuti, persino un quarto d'ora e più. Quello è un bolide, e l'apparizione sua è accompagnata, o immediatamente seguita da una o più detonazioni successive, che si intendono da grandi distanze, da punti lontani 100, 150 chilometri, e alle quali tien dietro la divisione del bolide in un numero più o meno grande di frammenti luminosi, che sembrano proiettati in direzioni diverse. In pochi casi alla detonazione ed all' esplosione del bolide tien dietro una pioggia di corpi lapidei (aeroliti, meteoriti), di dimensioni, di forme e di apparenze diverse. Dei medesimi, dal punto di vista mineralogico molto importanti, sarà certo discorso altrove in questa pubblicazione. Il benefico principio della divisione del lavoro vuole che qui trattisi soltanto dei bolidi e dei fenomeni loro, prima che da essi si stacchino i meteoriti.

Bolide.

Sono rari i casi in cui siasi riuscito ad osservare integralmente l'apparizione di un bolide, in cui siasi cioè visto il bolide, determinato il suo corso apparente, osservata la pioggia lapidea che segue l'esplosione, raccolto il meteorite. Questi casi sommano a 265, e non sono tali da risolvere ogni dubbio circa la velocità con cui i bolidi entrano nell'atmosfera terrestre. Certo essa è cosmica, e i bolidi sono quindi corpi extra-terrestri e cosmici, ma non si

può dire se essa corrisponda al moto parabolico oppure all'iperbolico, e questo lascia nei libri non pochi pubblicati sull'argomento insolute alcune questioni che riguardano l'origine dei bolidi, pur mantenuto fermo e dimostrato che essa è extraterrestre. Se il moto dei bolidi, prima di entrare nell'atmosfera della terra, fosse iperbolico, i bolidi non apparterrebbero nè alle comete, nè alle cadenti, nè al sistema planetario del sole: la loro origine sarebbe stellare, nè potrebbero in modo alcuno derivare da un unico corpo. Se il moto loro fosse parabolico, i bolidi sarebbero affini alle comete, e potrebbero forse derivare se non da un unico corpo, così come vorrebbero alcune indagini fatte dal punto di vista mineralogico, da una medesima classe di corpi almeno.

Alcuni ritengono che stelle cadenti e bolidi sono una stessa cosa, che le apparenze loro formano i punti estremi di una scala di fenomeni la quale offre dall'uno all'altro una serie di gradazioni continua, differenti in ciò solo che le cadenti passano ad una distanza molto più grande dalla terra. Nello stato attuale della scienza tutte queste cose non si possono dimostrare; se bolidi e cadenti sieno o non una stessa cosa, rimane per il momento insoluto; le ricerche spettroscopiche stesse nulla hanno insegnato in proposito, gli spettri osservati dei bolidi accusando in questi la presenza di particelle solide e di materiali gasosi in ignizione così come in altri corpi cosmici. Certo i bolidi sono corpi solidi come gli aeroliti che se ne distaccano, certo essi attraversano l'atmosfera terrestre con una grandissima rapidità, certo l'incandescenza loro è dovuta al calore sviluppato dalla compressione dell'aria che attraversano, certo il numero loro è più grande di quello che appaia. In un determinato luogo della terra la caduta di un meteorite è fenomeno rarissimo, e le statistiche portano in media a 180 le cadute ogni anno osservate sui diversi continenti. Se si pensa però che grandissima è l'estensione degli oceani, che grandi sono le plaghe continentali o deserte o barbariche, forza è ammettere che il numero dei bolidi e dei meteoriti realmente cadenti è ben maggiore dell'osservato, e che la caduta di pietre meteoriche sulla terra in generale è fenomeno d'ogni giorno.

Bolidi, stelle cadenti, comete, piccoli pianeti vennero via via durante il secolo XIX ampliando e complicando il sistema del sole. Questo nel secolo nostro si allontanò sempre più da quella semplicità e idealità geometrica cara alle menti, e trasformossi invece in un immenso meccanismo, in un meccanismo cosmico nel quale tutto si muove e nel quale il moto è ragione necessaria di esistenza. Comete innumerevoli lo percorrono in ogni verso; grandi e innumeri fiumane di materiali cosmici lo invadono da ogni parte e si svolgono in ogni plaga interplanetaria. Pianeti e satelliti, comete e correnti meteoriche sono la manifestazione sensibile di potentissime, di sterminate energie, le quali animano ciò che si vuol chiamare la materia inerte, e alle quali il sistema solare, ogni giorno più mirabile, obbedisce.

V.

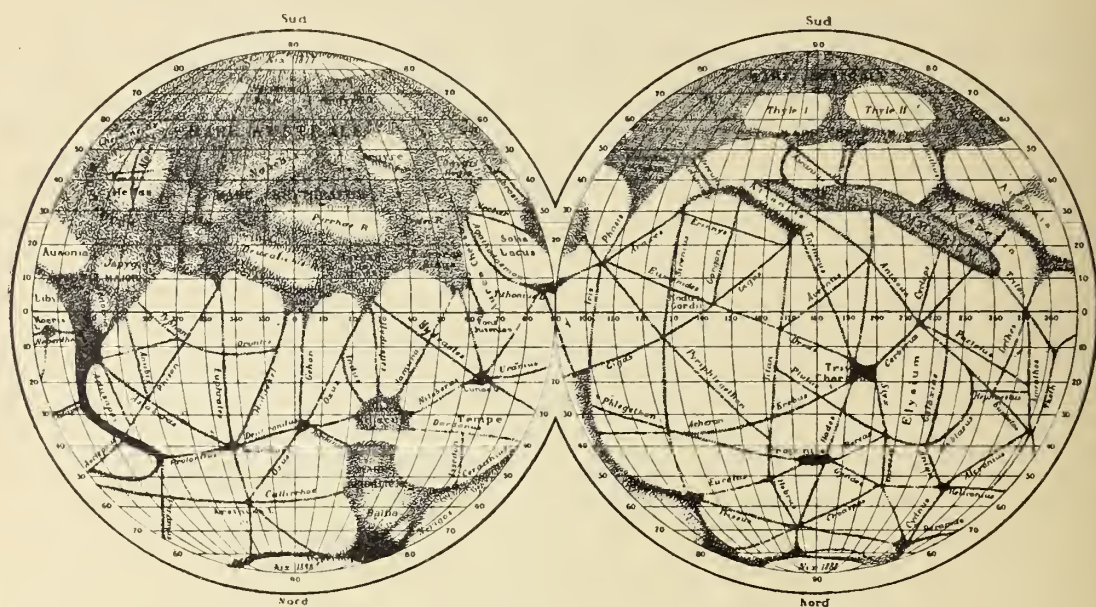
Scoperta dei satelliti di Marte: Deimos e Fobos — Forma di Marte — Durata della sua rotazione — Fenomeni della sua snperficie — Aregrafia — Giove e la sua massa — Splendore e luce di Giove — Apparenze della sua superficie — Ipotesi sulla costituzione sua — I quattro satelliti scoperti da Galileo — Il nuovo o quinto satellite scoperto nel 1892.

Nei mesi di agosto e di settembre del 1877 il pianeta Marte, portato dal suo movimento proprio veniva a porsi in opposizione, sulla direzione della linea che può idearsi fra i centri del sole e della terra, lasciando a questa il posto di mezzo e prendendo ad un tempo da essa la distanza minima possibile, perigea. Brillava in cielo con un diametro apparente di 25 minuti secondi d'arco, e questo diametro di tanto superiore a quello delle stelle fisse, e la sua luce scintillante, e il suo colore rossiccio lo facevano anche dai profani facilmente distinguere. Gli astronomi da tempo erano preparati alle osservazioni che nelle favorevolissime condizioni di visibilità del pianeta si sarebbero sovr'esso potuto fare, e le osservazioni superarono ogni aspettazione, conducendo là dove nessuna previsione umana avrebbe supposto. Il giorno 19 di agosto il professore Asaph Hall, astronomo dell'osservatorio di Washington, annunciò di avere col potente rifrattore di 26 pollici inglesi, 66 centimetri circa, costrutto da Alvan Clark, visto due satelliti intorno a Marte. Gli astronomi ne rimasero stupefatti, tanto essi avevano scritto e ripetuto che Marte di satelliti non ne aveva, e la scoperta di Hall venne ancora una volta a dimostrare, che il dubbio critico nella scienza è virtù e fonte di progresso, che quanto più uno si addentra nello scibile tanto minore deve diventare il numero delle affermazioni assolute che gli escono di bocca, che questo numero da solo basta quasi a dar la misura del valore e della serietà scientifica di un uomo e di un libro. Essa segna uno dei trionfi dei grandi cannocchiali del tempo nostro, sarà sempre enumerata fra le più belle scoperte nella storia della scienza, e ogni dettaglio che la riguarda sarà sempre ritenuto degno di essere ricordato. Già il giorno 11 di agosto Asaph Hall veduto aveva uno dei due satelliti, quello dal pianeta più lontano, ma solo nella sera del 16 gli riuscì di riconoscerne il vero carattere; tosto dopo, nella notte successiva, contro ogni aspettazione sua, un altro satellite comparve agli occhi suoi, il secondo degli scoperti, quello a Marte più vicino. Egli telegrafò il giorno 18 la scoperta ad Alvan Clark, e questi la confermò con altro rifrattore di 26 pollici, tuttora giacente nella propria officina; solo allora la scoperta fu da Hall comunicata all'Istituto Smitsoniano degli Stati Uniti, e da questo agli osservatorii europei.

Ai nuovi satelliti furono imposti i nomi di Deimos (fuga) e di Fobos (spavento) suggeriti dall'Iliade, là dove il dio Marte, appresa da Giunone la morte di Ascàlafo, fuori di sè, irato, si appresta a scendere in terra per vendicare l'ucciso figlio, e

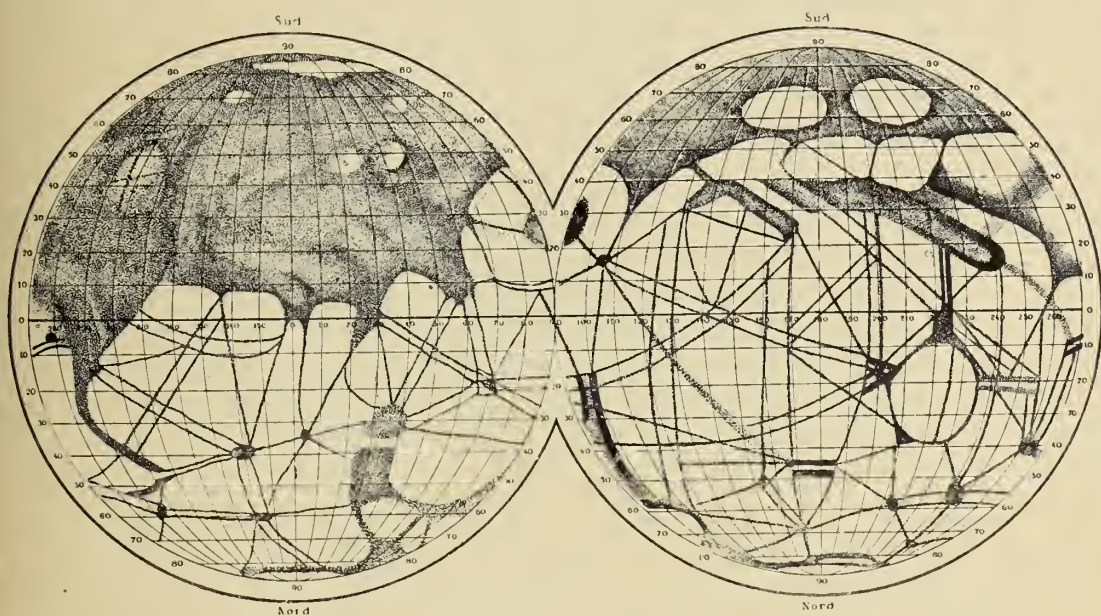
> . . . . . alla *Fuga* impone e allo *Spavento*
> d'aggiogargli i destrieri, e di fiammanti
> armi egli stesso si veste . . . . .

Deimos, il più lontano dal pianeta, e Fobos, il più vicino, si aggirano attorno

a Marte in orbite esattamente circolari, in un piano che esattamente coincide col piano dell'equatore di Marte, a distanze apparenti da questo di 32 e di 13 minuti secondi d'arco, a distanze reali di 22000 e di 9000 chilometri circa. Sono distanze ben piccole nel mondo planetario, e chi fosse trasportato su Fobos vedrebbe il globo di Marte sotto un angolo apparente di 40 gradi, chi su Deimos sotto uno di 16, trenta e più volte il diametro apparente della luna nel plenilunio. Incertissime sono finora le stime numeriche dei diametri delle due lunule arestri, tanto piccole esse appaiono nei più potenti cannocchiali; alcuni stimarono il diametro di Fobos uguale a poco più di 11 chilometri, quello di Deimos a poco meno di 10; altri li ritennero di 58 e di 16 chilometri rispettivamente, ma certo non si erra affermando che in ferrovia

Carta generale del Pianeta Marte secondo le osservazioni fatte a Milano dal 1877 al presente.

si potrebbe compiere fra un pasto e l'altro il giro loro, nè stancherebbe il percorrerli in vettura od a cavallo in tutta la loro ampiezza. Ciò che più colpisce nei satelliti di Marte è la rapidità della loro rivoluzione, uguale per Deimos a 30 ore e 18 minuti circa, per Fobos a 7 ore e 59 minuti; l'uno e l'altro percorrono in ogni minuto di tempo nella propria orbita rispettivamente 126 e 80 chilometri, mentre la media velocità orbitale della luna appena arriva a chilometri 61: Fobos compie più di tre rivoluzioni in uno dei giorni di Marte, poco più lungo del giorno terrestre, e dalla superficie di Marte lo si vedrebbe sorgere, culminare, tramontare, passare attraverso a tutte le sue fasi in circa undici ore. Se appena si riflette un momento alla rapidità vertiginosa dei movimenti descritti, alla grande forza centrifuga che ne deve nascere, alla piccola massa di Marte, un decimo appena della terrestre, si resta senz'altro persuasi che i nuovi satelliti devono essere fra i più piccoli corpi celesti ora conosciuti. Certo la luce solare che da lunule siffatte viene riflessa, poco può illuminare le notti di Marte; certo ancora l'ipotesi cosmogonica ben nota di

Laplace non basta da sola, senza l'intervento di cause perturbatrici posteriori, a spiegare la formazione del sistema di Marte, incomprensibile in essa ipotesi essendo un satellite che ha un periodo di rivoluzione più breve di quello di rotazione diurna del pianeta verso il quale gravita.

Piccole come esse sono queste lunule permisero a Newcomb di determinare con calcolo breve e preciso il valore della massa di Marte e di trovarlo uguale a meno che un tremilionesimo della massa solare, a undici centesimi della terrestre. Sono valori che bene si accordano con quelli trovati anteriormente per altre vie da Le Verrier, il quale di Marte lasciò una teoria apprezzatissima e tavole numeriche universalmente dagli astronomi usate per calcolare le effemeridi del pianeta. Nella storia dell'astronomia matematica Marte

Le geminazioni delle linee oscure del Pianeta Marte quali furono osservate a Milano principalmente nel 1881 e nel 1888.

ha fra tutti i pianeti un'importanza speciale, e al nome suo andrà per sempre connessa la importante scoperta delle leggi del moto ellittico. Se Ticone invece che le posizioni di Marte avesse determinate quelle di altro dei pianeti, se Keplero alle osservazioni di altro corpo del sistema solare avesse appoggiati i suoi calcoli, queste leggi, che nel XVII secolo diedero all'astronomia un indirizzo nuovo e sicuro, sarebbero per lungo tempo ancora sfuggite alle menti umane, poichè a Keplero, data la precisione mediocre delle osservazioni del tempo suo, riuscì già difficile di riconoscere l'ellitticità dell'orbita di Marte, sebbene grande e di molto superiore a quella degli altri pianeti, astrazion fatta da Mercurio.

Vi è un momento in cui Marte, il sole e la terra si trovano in linea retta, il sole essendo frammezzo, congiunzione di Marte; allora dalla terra e Marte e il sole si vedono sopra una stessa visuale, passano contemporaneamente al meridiano, e Marte immerso nella potente luce solare è invisibile. V'è un altro momento in cui i tre corpi vengono ancora a disporsi in linea

retta, essendo però la terra frammezzo, opposizione di Marte; allora questo è a 180 gradi dal sole, culmina dodici ore dopo di esso, e durante la notte se ne può seguire in cielo l'intero arco diurno. Quando Marte esce appena dalla congiunzione del sole è perfettamente rotondo ed ha il suo minimo diametro apparente; quando è in opposizione col sole ha il massimo suo diametro apparente ed è ancora rotondo; quando sta a 90 gradi dal sole, a metà fra la congiunzione e l'opposizione, perde la forma di disco per intero luminoso, ed il suo contorno occidentale oppure l'orientale appare oscuro. È questo un principio di fase, analogo a quello della luna tre giorni prima o tre giorni dopo il plenilunio, e che non sfuggì all'occhio linceo di Galileo, il quale ne trasse la conseguenza che Marte non brilla di luce propria ma di luce che su lui irradia il sole e che esso ver noi riflette, conseguenza posta in luce meridiana dalle osservazioni spettroscopiche del secolo nostro.

Quantunque tale appaia, non si è ben certi se Marte sia una sfera perfetta, oppure ruoti intorno ad un asse più corto che non il suo diametro equatoriale. Secondo le osservazioni di Guglielmo Herschel lo schiacciamento di Marte è uguale ad 1 diviso per 16, secondo Schröter ad 1 diviso per 80; le osservazioni di Bessel non danno alla figura del pianeta ellitticità di sorta; le osservazioni di Main e di Kaiser diedero schiacciamenti espressi dall'unità divisa rispettivamente per i numeri 39 e 118, mentre le più recenti di Young lo pongono uguale ad 1 diviso per 220. Si è per contro certissimi sulla durata della rotazione di Marte. Le determinazioni di Domenico Cassini, di Maraldi, di Guglielmo Herschel, di Mädler, di Linnsser, e ultimamente di Kaiser e di Bakhuysen, si concordano bene fra loro e la pongono uguale a 24^h 37^m $22^s,67$. Sono determinazioni che in generale riescono bene ogni qualvolta si può fissare con certezza sulla superficie del pianeta un punto speciale e caratteristico, una macchia, e questo naturalmente fa che antica quanto la scoperta della rotazione di Marte è quella di macchie alla sua superficie, le quali furono già osservate da Fontana nel 1636 e da Zucchi nel 1640.

Sono queste macchie di Marte che nel secolo nostro fecero la fortuna del pianeta, mentre furono le peculiarità del moto suo eccentrico quelle che gliela fecero nei secoli XVII e XVIII. E su queste macchie, schizzate già da G. Herschel in una breve carta, e più tardi fra il 1830 e il 1839 disegnate da Beer e Mädler, che le osservazioni fatte negli ultimi trent'anni del secolo XIX, aiutate dalla forza dei cannocchiali moderni, portarono a scoprire dettagli curiosissimi. È sui fenomeni superficiali di Marte, osservati con rara tenacia e perseveranza in tutte le opposizioni del pianeta a cominciare da quelle del 1877, che l'astronomo italiano G. Schiaparelli si affermò ancora una volta in modo imperituro, facendo che essi diventassero preoccupazione di astronomi numerosi, e fossero con diligenza studiati in molte specole, all'osservatorio Lowell a Flagstaff, Arizona S. U.; all'osservatorio Lick, California; agli osservatorii di Juvisy e di Meudon, Francia; all'osservatorio privato dall'astronomo Cerulli a Teramo; all'osservatorio Manora a Lussinpiccolo, Istria, e via.

Abbiamo oramai della superficie di Marte carte dettagliatissime e i nostri disegni lo dimostrano. Marte presenta grandi analogie colla terra, ma non è ad essa identico; è circondato da un'atmosfera analoga alla terrestre, ma

la meteorologia sua ha caratteri proprii diversissimi da quelli della meteorologia nostra; ha alla sua superficie macchie fisse e permanenti, di forme svariate, di colori diversi, formanti configurazioni geografiche analoghe per aspetto a quelle della terra ; è come questa un globo geografico con oceani e continenti, ma diversissimi su Marte e sulla terra sono i caratteri e i rapporti delle regioni continentali e delle oceaniche, sicchè l'aregrafia, o geografia di Marte, ha caratteri proprii per noi singolarissimi e pieni di novità. Avvengono sulla superficie di Marte cangiamenti regolari che seguono il corso delle stagioni del pianeta, che hanno per causa la circolazione delle acque e molto probabilmente le vicissitudini della vegetazione, ma avvengono altresì rapidi cambiamenti incontestabili. La superficie di Marte, pur restando immutabile nelle sue grandi linee generali, presenta delle metamorfosi favolose, la geminazione dei canali ad esempio, che nessuna analogia terrestre saprebbe per intero spiegare in modo soddisfacente. Descrivere queste metamorfosi sarebbe fare di Marte una monografia non conforme all'indole del presente lavoro, e ciò tanto più in quanto la spiegazione delle medesime non è per anco trovata. È verosimile

Giove e i suoi quattro Satelliti.

che alcune delle regioni oscure di Marte non sieno, come per un momento si credette, coperte d'acqua, e sieno piuttosto aree coperte da vegetali, attraversate da canali e da argini. I canali han tutto l'aspetto di opere artificiali, di manufatti, e il loro intricato complesso pare determinato da ciò che l'acqua su Marte è ben più rara e preziosa che sulla terra e vi è con opere grandiose di irrigazione e con grande arte utilizzata. Questi concetti porterebbero a conchiudere che su Marte la temperatura media sia più alta che sulla terra, ciò che data la sua maggior distanza del Sole essere non dovrebbe, e che supporrebbe sorgenti finora inesplicabili di calore proprie del pianeta. L'ultima parola su Marte non fu ancora pronunziata, e sarebbe temerità il pronunziarla. È tale la varietà e complicazione dei suoi fenomeni, che soltanto uno studio ulteriore e paziente potrà rischiarare le leggi secondo cui essi si producono, e condurre a conclusioni sicure e definite sulla costituzione fisica di un mondo tanto analogo al nostro sotto certi rispetti, e sotto altri tanto diverso. L'origine sua stessa è incerta: non è improbabile che, venendosi a scoprire altri planetoidi analoghi a Eros, col tempo Marte, del quale la massa è tanto piccola, non venga ad essere riferito esso pure allo sciame dei piccoli pianeti, sciame che in tal caso verrebbe ad occupare la plaga di spazio che intercede fra la terra e Giove.

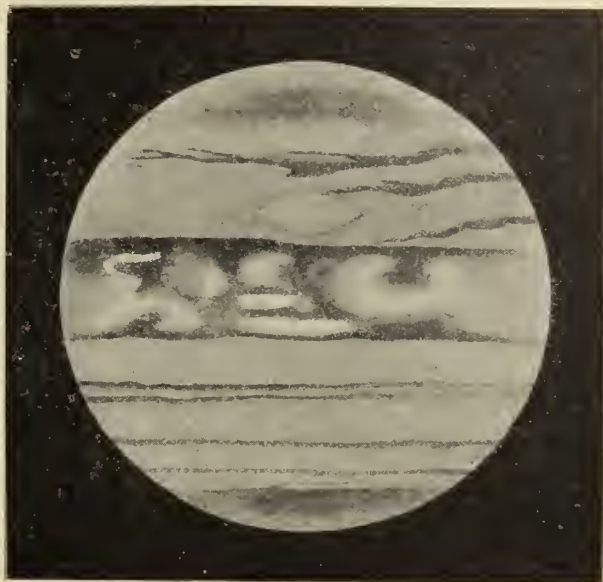
— Da Marte interamente diverso, e pur non meno ricco di arcani per quel che riguarda la fisica costituzione sua, è il pianeta Giove, di gran lunga il

Giove osservato nel 1872.

più grande fra i pianeti, il corpo più importante, dopo il sole, nel mirabile meccanismo del Sistema nostro. Il suo diametro equivale a 12 volte quello della terra, e rispetto ad esso questa appare come un pisello a lato di una melarancia. La sua massa, ossia la quantità di materia che esso contiene, è 308 volte la massa terrestre, e rispetto ad essa, si gran parte esercita nel Sistema solare, molto studiarono gli astronomi del secolo nostro. La si ritenne lungamente, posta uguale all'unità la massa del sole, espressa dall'unità divisa per il numero 1070,0 così come risultava dalla determinazione di Bouvard accettata da Laplace, ma Gauss, utilizzando per il primo alla determinazione sua i movimenti dei piccoli pianeti, dimostrò, per mezzo delle perturbazioni riscontrate nel movimento ellittico di Pallade, che il valore di Bouvard era inferiore al vero. Nicolai ed Encke, camminando sulle orme di Gauss, dedussero dalle osservazioni di Giunone e di Vesta per la massa di Giove i valori espressi dall'unità divisa rispettivamente per i numeri 1053,92 e 1050,36; ma Le Verrier dalle cui tavole si traggono le effemeridi di Giove, dimostrò nel 1875 che nella determinazione della massa di Giove era per il momento preferibile l'uso delle elungazioni del quarto satellite. Già Bessel infatti dalle distanze di questo satellite da lui stesso osservate fra il 1832 e i 1839, trovato aveva la massa di Giove uguale all'unità divisa per 1047,88 e al valore di Bessel molto si accostarono quelli trovati posteriormente per vie diverse da Krüger, da Müller, da Asten e da altri, tanto che il valore oggi dai più accettato è l'unità divisa per 1047,2.

Giove osservato nel 1873.

Questa grande e potente massa ha grande splendore, ed una luce giallognola caratteristica, la quale produce uno spettro con righe oscure nume-

rose identiche in gran parte a quelle dello spettro solare, e con una riga speciale intensamente nera nella regione del rosso la meno rifrangibile. Si tratta quindi di una luce essenzialmente identica alla solare e dal pianeta verso noi riflessa, ma si tratta anche di una luce che su Giove stesso patisce un'assorbimento speciale, accusato dalla riga oscura caratteristica dello spettro suo, e avente luogo in una profonda atmosfera che certamente circonda il pianeta. Quale sia la materia assorbente diffusa in questa atmosfera, la scienza non lo può dire ancora, tanto più che molto probabilmente Giove è in tutto od in massima parte ancor fluido, e la massa sua, sebbene molto densa, è in preda a sconvolgimenti continui. Sulla superficie di Giove infatti una fascia larga e luminosa occupa tutta la regione equatoriale, ed ai lati di essa, altre strisce meno lucenti, pure parallele all'equatore, fasciano il pianeta, mentre più oltre verso nord e verso sud, su ciascuno degli emisferi, ed anche fin verso i poli, altre e molte striscie appaiono, tutte più strette e pallide delle equatoriali, tutte limitate ad un breve tratto di superficie, talune anzi bruscamente rotte e terminate. Sono queste fascie e striscie oggetti di osservazione continua ed insistente, ed i grandi cannocchiali odierni non poco appresero intorno ad esse. La grande fascia equatoriale ad esempio, pur variando nei dettagli conserva talora per qualche tempo, come avvenne nel febbraio del 1872, lo stesso aspetto generale, ma da epoca ad epoca (anni 1870-72-73) cambia intieramente e colore e struttura, pur riprendendo a lunghi intervalli (1872, 1880-81) aspetti analoghi e colori identici. Le fascie minori, le striscie qua e là sparse mutano continuamente e forma, e colore, e splendore, dando all'intero disco del pianeta aspetti incessantemente diversi. L'osservazione non riuscì finora a snebbiare l'arcano e intricato insieme di questi aspetti mutabilissimi, resi anche più difficili a spiegarsi da ciò che talora eccezionalmente appaiono su Giove macchie singolari, con caratteri diversi da tutto ciò che le circonda; scompaiono, si trasformano profondamente le fascie e le minori strisce a loro dintorno, ed esse perdurano immutabili anni ed anni, partecipando solo al rapido moto generale di rotazione del pianeta. Tale è la storica macchia ovale, intensamente rossa, riapparsa nel 1879 a fianco della grande fascia equatoriale e che, osservata e riosservata nei 20 anni trascorsi, ancor oggi sussiste. È difficile spiegare queste macchie temporaneamente permanenti; non è facile spiegare le variazioni di forma, di splendore, di struttura che incessantemente avvengono sulla super-

Giove osservato nel 1881.

ficie del pianeta, nè si può per il momento dire fino a quale profondità le variazioni stesse si estendano. Da principio si concepì Giove simile per intero alla terra, con un nucleo solido immerso in un oceano atmosferico, ma questo concetto non regge alla critica basata sui fatti osservati; a questi si trova fino ad un certo punto più facile spiegazione, supponendo il corpo di Giove in tutto o in massima parte ancora fluido, e attribuendo a questa massa fluida una grande densità. Generalmente si ritiene oggi che Giove sia un mondo della terra interamente diverso, sul quale non si possono immaginare continenti e mari e atmosfera in condizioni analoghe alle terrestri, che la massa sua dotata di grande densità e forse di calore grandissimo sia, come quello del sole, in preda a agitazioni e a sconvolgimenti continui.

— Attorno a Giove gravitano cinque satelliti, quattro dei quali sono le famose stelle medicee di Galileo, che segnano una delle prime scoperte celesti dovute a cannocchiali, e che sotto il punto di vista meccanico furono profondamente studiate da Lagrange e da Laplace. Sulle ricerche di questi sommi fondansi le tavole di Damoiseau, pubblicate nel 1836 ed ancor oggi in uso. La precisione loro non è più tale che appaghi l'astronomia odierna, ma il calcolare nuove tavole sarebbe oggi opera sprecata, insufficiente a tal e scopo essendo ancora il numero dei fatti osservati.

Giuseppe Luigi Lagrange.

I quattro satelliti scoperti da Galileo, oltre che per il loro splendore variabile, colpiscono l'osservatore per le differenti apparenze che presentano durante il loro passaggio sul disco del pianeta, per la forma ellittica che secondo alcuni osservatori assumono ad intervalli regolari, per la diversa intensità delle ombre che talora essi proiettano sul sole. Si direbbe che per le apparenze delle superfici loro questi satelliti punto non sieno meno difficili a studiare del pianeta intorno al quale gravitano, e poichè le apparenze stesse solo coi più potenti cannocchiali possono essere studiate, la scienza avvenire soltanto potrà farne una descrizione esauriente.

Da 228 anni il mirabile sistema di Giove e delle quattro sue lune era oggetto di osservazioni assidue e di studii importanti, quando nella notte del 9 settembre del 1892 l'astronomo americano Barnard, osservando al grande cannocchiale dell' osservatorio Lick, notò una piccolissima stella rasente al contorno del disco apparente di Giove e vicina al terzo dei satelliti noti. La sospettò tosto un nuovo satellite, e nella notte successiva potè verificare l'interessante scoperta, e prendere del nuovo astro, nel momento dell'elungazione

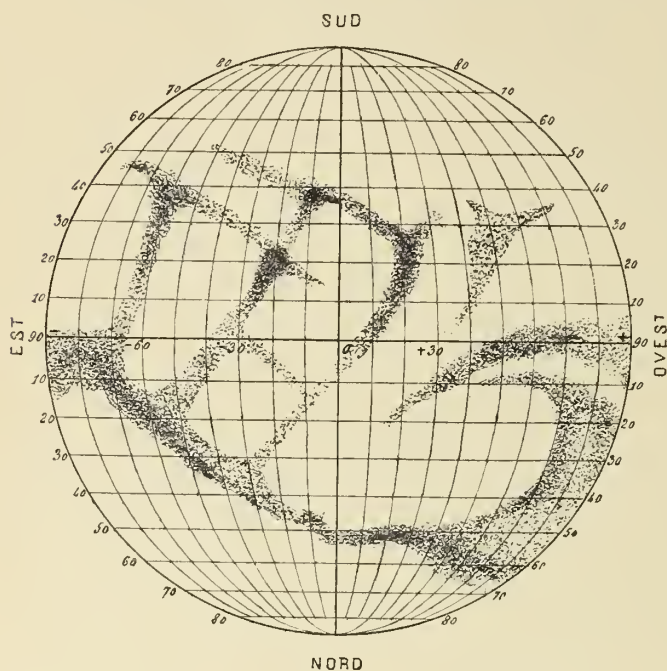
sua, un discreto sistema di misure. Più precise osservazioni potè eseguire solo la notte del 12 settembre, nella quale, applicato all'oculare un dischetto di mica affumicato, riuscì a poter vedere contemporaneamente e il disco del pianeta, e il nuovo satellite. Questo è debole, molto più difficile ad osservare che non i satelliti di Marte, e dopo il 1892 fu visto e sottoposto a misura da altri osservatori; ma sempre con cannocchiali di grandissima forza, e di 30 pollici almeno di apertura. Poco si può dire di preciso finora intorno alla grandezza sua apparente, al diametro e alla massa; questo solo può affermarsi che esso molto più degli altri satelliti è vicino al pianeta; che ne dista 180 mila chilometri mentre il più vicino degli altri quattro ne dista 428 mila; che compie una rivoluzione intorno a Giove in 11 ore e 49 minuti; che l'orbita sua, come quella dei già da tempo noti satelliti, giace press'a poco nel piano dell'equatore di Giove. Quest'ultimo fatto ha una singolare importanza. Per esso diventa probabile che il quinto satellite, sebbene non visto anteriormente, sia un antico membro del sistema di Giove: poichè se esso fosse un astro errante nuovamente imprigionato, capturato, dal potente pianeta e da esso costretto a girargli attorno, dopo lunghissimo tempo soltanto potrebbe avere l'orbita quasi nel piano equatoriale del pianeta stesso.

VI.

Mercurio — Sua luce — Sua atmosfera — Sue macchie permanenti — Sua rotazione — Suoi passaggi sul disco del Sole — Difficoltà della sua teoria e pianeta intramercuriale — Passaggi di Venere sul disco del Sole e loro importanza — Passaggi del 1874 e del 1882 — Teoria del movimento di Venere — Costituzione fisica del pianeta e difficoltà che si incontrano nello studio suo — Macchie di Venere — Sua atmosfera — Durata della sua rotazione — Terra — Sua forma — Sue dimensioni — Durata della sua rotazione — Variazioni delle latitudini terrestri — Movimento dei poli della rotazione della Terra sulla sua superficie.

ercurio è fra i pianeti uno dei più difficili ad essere osservato, e il secolo nostro molto a riguardo suo ci insegnò. La spettroscopia potè dimostrare che le righe oscure del suo spettro luminoso corrispondono a pennello a quelle dello spettro del sole, e che si incontrano in esso inoltre quelle righe le quali nello spettro solare vedonsi soltanto quando il sole è basso sui nostri orizzonti, e le quali sono prodotte dall'assorbimento esercitato sovra i suoi raggi luminosi dall'atmosfera terrestre. Ciò significa che Mercurio è opaco, e certo splende per luce solare che la sua superficie riflette; ciò significa ancora che probabilmente Mercurio è per ogni parte avvolto da un oceano aereo, il quale ha sulla luce solare un' efficacia assorbente sensibile. All' influenza di un atmosfera attorno a Mercurio sono favorevoli ancora le osservazioni telescopiche dirette. La luce che Mercurio riceve dal sole è sette volte circa più intensa di quella che riceve la Terra; malgrado questo e malgrado che esso sia molto più vicino al sole di Venere, esso appare di questa press'a poco sei volte meno splendido. È probabile che sulla superficie di Mercurio esista una condizione affatto speciale di cose, la quale ne affievolisca il potere riflettente, e lo renda assai più piccolo di quello che esiste sulla superficie di Venere; è probabile che attorno a Mercurio esista un' atmosfera assorbente, la quale permetta la riflessione verso la Terra di una pic-

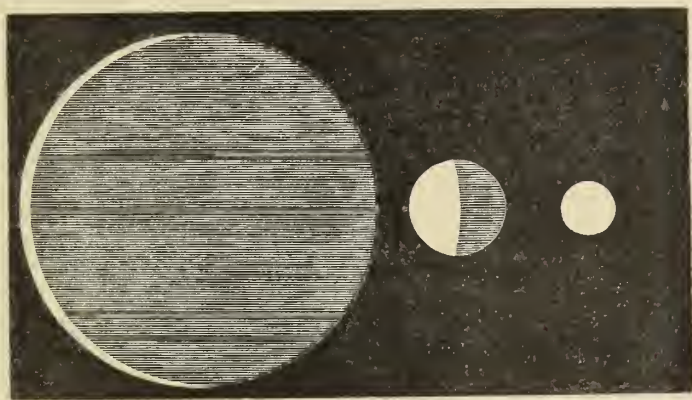
colissima parte dei raggi solari; non è improbabile che l'assorbimento succeda negli strati stessi che formano la superficie del pianeta. Questa è sparsa di macchie oscure permanenti quanto a forma e disposizione, ma non sempre ugualmente manifeste, divenendo esse talvolta più intense, tal altra più pallide. Potrebbero esse dipendere semplicemente dalla diversa materia e struttura dagli strati solidi superficiali, ma, esistendo in Mercurio un'atmosfera capace di condensazioni, e forse anche di precipitazioni, potrebbero anche essere qualche cosa di analogo ai nostri mari.

Qualunque ne sia la natura, sono appunto queste macchie superficiali permanenti quelle che guidano a ricercare quanto duri la rotazione del pianeta, e sono appunto osservazioni insistenti fatte sovr'esse fra il 1882 e il 1889 quelle che condussero l'astronomo italiano G. Schiaparelli a dimostrare che Mercurio si rivolge nella sua orbita mantenendo sempre lo stesso emisfero verso il sole, e che la sua rotazione e la sua rivoluzione hanno ugual durata, 88 giorni circa. È questo un fatto di importanza capitale per il quale Mercurio si distingue in modo cospicuo dagli altri pianeti, che tutti ruotano rapidamente intorno al loro asse e compiono una rotazione in poche ore, e per il quale i fatti fisici succedentisi su Mercurio sono interamente di versi da quelli terrestri.

Il pianeta Mercurio.

In talune congiunzioni inferiori di Mercurio, le posizioni reciproche della Terra, di Mercurio e del sole diventano tali, che dalla Terra si proietta Mercurio esattamente sul disco del sole. Vedesi allora Mercurio sotto forma di un punto nero-scuro attraversare il disco del sole, avviene allora un passaggio di Mercurio sul sole. Sono 28 i passaggi di Mercurio più o meno finora osservati a cominciare da quello del 7 novembre del 1631; sono 13 quelli avvenuti nel secolo XIX, quelli cioè del novembre del 1802, del 1815, del 1822, del 1835, del 1848, del 1861, del 1868, del 1881, del 1894, e quelli del maggio del 1832, del 1845, del 1878 e del 1891. Sono passaggi abbastanza rari per eccitare la curiosità, difficili ad essere ben osservati, ma che in astronomia hanno importanza solo perchè servono a determinare posizioni precise del pianeta nello spazio, e gli elementi dell'orbita da esso percorsa.

Mercurio è l'unico pianeta di cui fino ad oggi siasi dichiarato impossibile l'assoggettare per intero il corso alle leggi della gravitazione universale, e la sua teoria, benchè elaborata dalla sagace mente di Le Verrier, pre-

senta tuttora discordanze notabili colle osservazioni. Il valore stesso della massa di Mercurio è incerto, e l'incertezza è tale che rende quasi impossibile escogitare con sicurezza un'ipotesi, la quale spieghi le contraddizioni tuttora esistenti fra la teoria del movimento del pianeta e le posizioni di esso osservate. Vi fu un momento, in cui, dietro la supposizione e i calcoli di Le Verrier, si credette all'esistenza di un pianeta ignoto intra-mercuriale, pel quale si era anche fissato il nome di Vulcano, ma le ricerche di esso fatte durante le eclissi totali di sole, durante quella ad esempio del luglio del 1878, a nulla avendo approdato, si dubita ora che esistano planetoidi, i quali si muovano in un anello di poco esteriore all'orbita di Mercurio e mediocremente inclinato all'eclittica. La questione però è per il momento ancor troppo acerba, e la soluzione sua è riservata agli astronomi avvenire.

Meno frequenti che quelli di Mercurio ma più importanti sono i passaggi di Venere sul disco solare. Costituiscono essi uno dei mezzi meglio atti a determinare la parallasse del sole, o in altre parole la sua distanza dalla

Fasi di Venere alla sua distanza massima, media, e minima della Terra.

terra, che è una delle costanti fondamentali di tutto il Sistema nostro planetario, che entra in tutti i calcoli della meccanica celeste, nella determinazione di quantità importantissime allo studio dei movimenti planetarii, delle masse, ad esempio, degli stessi pianeti. Sono celebri nella storia dell'astronomia i passaggi di Venere del 1761 e del 1769; non meno celebri rimarranno quelli avvenuti il giorno 8 dicembre del 1874 e il giorno 6 dicembre del 1882, tale fu la novità dei metodi impiegati all'osservazione loro, tale la critica sapiente a cui i metodi stessi furono sottoposti, tanto numerose furono le spedizioni scientifiche organizzate per la loro osservazione negli Stati Uniti d'America, in Francia, in Germania, in Inghilterra, in Russia. Chi dovesse scrivere una storia scientifica dell'astronomia del secolo nostro, dovrebbe dedicare lunghe pagine intorno ai due passaggi del 1874 e del 1882, i quali per un quarto di secolo furono una delle preoccupazioni principali degli astronomi tutti, i quali diedero luogo a numerose questioni tecniche importantissime, all'osservazione dei quali presero parte astronomi di tutti i paesi, gli italiani non esclusi, sui quali già furono, sotto la direzione dell'astronomo tedesco A. Auwers, pubblicati volumi ponderosi, che sono un documento prezioso dell'alto grado a cui il Secolo XIX seppe portare l'astronomia d'osser-

vazione; ma in una storia astronomica breve e popolare come la presente basta il cenno fattone. Dalle osservazioni dei passaggi in questione risultò, ciò che del resto abbastanza risulta dalle osservazioni di ogni giorno, che la teoria del movimento di Venere elaborata da Le Verrier, e sulla quale gli astronomi universalmente appoggiano i calcoli loro relativi al pianeta, punto o pochissimo lascia a desiderare; sicchè ciò che intorno a Venere oggi meno si conosce riguarda la sua costituzione fisica.

Venere vista dal Vogel il 3 novembre 1871.

Venere vista dal Vogel il 24 maggio 1871.

Lo splendore di Venere vince quello di tutti gli astri del cielo, quello del sole soltanto escluso, e nasce dalla relativa vicinanza sua al sole, e dalla densa sua atmosfera che intensamente riflette verso di noi la luce solare. A questa essenzialmente identica è infatti la luce che Venere a noi invia: le righe, che nello spettro del sole sono prodotte dall'assorbimento della nostra atmosfera, si riconoscono e si rintracciano ancora nello spettro di Venere, e bastano a dimostrare che questo splendidissimo fra i pianeti è circondato da un'atmosfera, la cui esistenza dalle osservazioni dirette e ordinarie è già abbastanza provata. Che se queste ultime lasciano pensare ad un'atmosfera nella quale esistono strati di grande densità, e le osservazioni spettroscopiche mostrano invece deboli righe di assorbimento, ciò può provenire da questo che i raggi luminosi del sole si spingono solo a deboli profondità nell'atmosfera di Venere, e non provano l'efficacia assorbente dei suoi strati più densi.

L'atmosfera di Venere vista dal Vogel durante il passaggio sul sole del 1882.

Avviluppato da una densa e quasi del tutto opaca atmosfera, il pianeta Venere non offre allo spettatore terrestre altro, per lo più, che una superficie biancheggiante, lucente e di splendore uniforme. Eccezionalmente si notano su di essa eccessi di luce in certi punti, irregolari deficienze in certi altri, apparenze confuse di macchie e di tratti oscuri alternati con macchie e tratti più chiari, macchie piccole però e mutabili, aventi carattere transitorio, e probabilmente prodotte da mutazioni succedentisi nell'atmosfera del pianeta. Più eccezionalmente ancora si vedono ombre o macchie persistenti e ben definite, e poichè queste si riproducono di quando in quando, a lunghi intervalli di tempo, sotto identico aspetto, non è inverosimile il pensare che provengano da accidenti superficiali del pianeta, che sieno prodotte da cause aventi sede fissa sulla superficie

di esso, così come non è difficile il congetturare che le macchie leggere od ombreggiature del pianeta, quantunque determinate in generale da processi che hanno luogo o si rispecchiano nella sua atmosfera, possono tuttavia dipendere, almeno in certi casi ed in qualche misura, dalla natura e disposizione topografica della superficie sottostante di Venere. Non tutti però si accordano in quest'ordine di idee. Già l'astronomo F. Bianchini, in seguito ad osservazioni da lui eseguite a Roma negli anni 1726 e 1727, aveva delineato una mappa di Venere sparsa di ombre e di macchie, aventi a suo credere carattere di accidenti permanenti e stabili della superficie del pianeta, e fra gli astronomi del tempo nostro il signor Brenner, colla scorta delle proprie osservazioni fatte a Lussinpiccolo, schizzò e pubblicò una carta di Venere, sulla quale alcune macchie di forma certa sono disegnate e controdistinte coi nomi di Mare Italicum, Mare Britannicum, Mare Lusitanum, Italia, Helvetia e via. L'avvenire deciderà da qual parte stia la ragione; oggi però come pel passato sta pur sempre indiscutibile il fatto che grande in generale è l'uniformità di splendore della superficie di Venere, e che in tale uniformità, troppo di rado rotta da ombre o macchie permanenti, sta l'ostacolo principale ad una sicura indagine della costituzione fisica della superficie del pianeta.

Dal carattere transitorio delle macchie generalmente osservabili su Venere, nasce la difficoltà di ben determinare la durata della rotazione del pianeta, e questo diventa chiaro se appena si pensa che a giudicare, per via sperimentale, della rotazione di un astro lontano, solo mezzo possibile è fissare un punto determinato della sua superficie, e seguire lo spostamento continuo e successivo che di esso la rotazione dell'astro produce. Fino al 1890 si ritenne universalmente, dietro Cassini, Schröter, Palomba, che Venere compiesse una rotazione intorno a sè medesima in poco meno che 24 ore; nel 1890 e più tardi nel 1895 lo Schiaparelli fu dalle proprie osservazioni e da una critica stringente delle ricerche anteriori condotto a pensare che la rotazione di Venere è lentissima, che essa succede intorno ad un asse press'a poco coincidente colla perpendicolare al piano dell'orbita del pianeta, e che si compie in giorni 224,7 cioè in un periodo esattamente uguale a quello della rivoluzione del pianeta intorno al sole. Non v'è intorno a questa ultima durata della rotazione quel consenso unanime che caratterizza le verità di fatto, ma l'accordo verrà non appena gli osservatori tutti si persuaderanno che i fatti della superficie del pianeta Venere sono difficilissimi ad essere indagati, più difficili ancora ad essere rigorosamente interpretati.

Alla Terra, oggetto immediato delle scienze che sotto un punto di vista ristretto soglionsi chiamar naturali, sarà in altre parti di questa pubblicazione dedicato lungo discorso; qui essa deve venire considerata specialmente e solo come uno degli astri dell' universo.

Come tale e nell' insieme suo essa darebbe luogo alla pagina più splendida che nella storia dello scibile scrivere si possa, perchè dare moto alla Terra, farla roteare e ad un tempo correre velocissima attraverso allo spazio universo fu certo il pensiero più robusto ed audace della mente umana. Ma sì splendida pagina appartiene ad altro secolo: al secolo XIX fu rispetto

al pianeta nostro riserbata opera meno brillante, sebbene non meno sapiente e difficile.

I secoli passati legarono al nostro tuttora incompiuto il problema della figura e delle dimensioni della Terra, problema che venne facendosi sempre più complesso a misura che i progressi delle scienze applicative apportarono a poco a poco nello studio delle questioni naturali maggior spirito di rigore e di esattezza. Sono sopratutto le attrazioni locali quelle che lo complicarono, essendosi riconosciuto con certezza nel secolo nostro che in nessun luogo della Terra la direzione della verticale o del filo a piombo è esente da perturbazioni locali prodotte dalle irregolarità della superficie terrestre, e dalla varia densità dei terreni circostanti e sottostanti. Astronomi e geodeti di primo ordine, il sommo Bessel fra gli altri, pensarono dapprima che, a tener conto delle attrazioni locali, bastasse da una parte misurare sulla Terra archi di meridiano e di parallelo molto lunghi, e dall'altra moltiplicare il numero degli archi stessi: che gli effetti dalle attrazioni locali paragonare si potessero agli errori accidentali inevitabili di ogni osservazione, e che, sottoponendo opportunamente a calcolo un grandissimo numero di archi misurati, si potessero i medesimi eliminare dal risultato finale.

Paolo Frisi autore della Disquisitio mathematica in causam phisicam figurae et magnetitudinis Terrae.

Nacquero da questo modo speciale di considerare la questione: il grand'arco di meridiano anglo-francese, ampio più che 22 gradi, misurato in parte nel secolo scorso, in parte nella prima metà del presente, e che va dall' isola di Formentera a Saxavord nelle isole di Shetland; la grande meridiana di Russia che abbraccia 25 gradi, si estende da Fuglenaes sul mare glaciale artico a Staro-Nekrasswka sul Danubio, e fu misurata fra il 1816 e il 1852; l'arco di parallelo che nei tre primi decennii di questo secolo fu misurato fra Bordeaux e Fiume attraverso alla Francia e all'Italia superiore; il grande arco di parallelo da pochi anni compiuto, che abbraccia non meno di 70 gradi in longitudine, e che va da Valentia in Irlanda a Orsk sul fiume Ural agli estremi confini orientali di Europa; la gran meridiana indostanica che dai piedi dell'Himalaya per opera di scienziati inglesi fu fra il 1805 e il 1873 condotta fino al capo Comorino per un'ampiezza di 25 gradi di circolo massimo; le grandi triangolazioni eseguite lungo

le coste orientali degli Stati Uniti d'America dall'Ufficio della Coast-Survey; il grado così detto della media Europa, che dall'estremo meridionale della Sicilia, Capo Passaro, si estende per circa 27 gradi fino a Drontheim in Norvegia, grado che diede nel 1861 origine ad una Commissione geodetica europea, ampliatasi in seguito e trasformatasi in un' Associazione geodetica mondiale, la prima Associazione internazionale scientifica propriamente detta.

Sarebbe impossibile e contrario all'indole del presente lavoro toccare anche solo rapidamente di tutte le cose che si riferiscono al problema della forma e delle dimensioni della Terra, nel quale l'Associazione geodetica internazionale ha oggimai sì gran parte. È tutta una scienza, tutto un ordine di idee, tutto un insieme di procedimenti matematici e di metodi pratici di osservazione che vi si riferisce, e che porta in sè l'impronta dell'attività di non pochi splendidi ingegni. Basta il dire che per essa e per indagini molteplici fra le quali quelle di Schubert, di Clarke di Fergola, di Ritter, di Brunnus, di Helmert risulta oggi dimostrato che le attrazioni locali sono ben lungi dal poter essere considerate nel problema terrestre come errori accidentali; che la superficie della Terra non è una figura geometricamente e matematicamente definibile, che essa è una superficie di livello, geoide, definibile solo meccanicamente, che il geoide poco si scosta da un ellissoide di rivoluzione; che questo ellissoide medio, sia poi quello determinato da Bessel, da Clarke o da altri, può prendersi come superficie di riferimento nei calcoli che alla superficie della Terra si riferiscono. Sono questi i risultati certi di un immenso lavoro del secolo nostro; certi, in quanto che ad essi sono conformi i risultati che, quando si consideri la forma soltanto della Terra, trarre si possono dalle misure della gravità terrestre fatte col pendolo, e dalle più precise osservazioni lunari. Nè le ricerche in questione hanno finita l'opera loro, poichè la conoscenza esatta della figura della Terra, quale essa realmente è in ogni suo tratto, non quale la può supporre una formola matematica o una dottrinaria astrazione, ha importanza grandissima dal punto di vista delle ipotesi che si possono fare sulla costituzione interna del nostro pianeta.

Giovanni Inghirami, autore delle triangolazioni della Toscana.

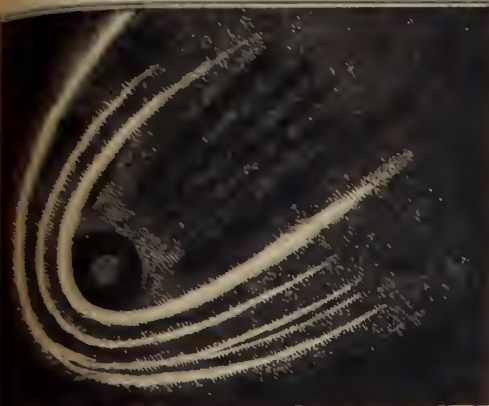
La Terra ruota intorno al proprio assse, e questo fenomeno, producendo l'alternarsi della luce e delle tenebre, determina la misura principale e fondamentale del tempo, il giorno di 24 ore. Ora la rotazione della Terra è dessa uniforme? La sua durata è oppure non è costante? Se mutabile entro quali limiti muterà essa? Son queste altrettante domande, di grande portata astronomica, alle quali la scienza cercò di dare nel secolo nostro risposta.

Già Laplace aveva dimostrato che il raffreddamento progressivo subito

dal nostro globo, per il calore continuamente irradiato verso gli spazii celesti, ne deve accelerare la rotazione. Da tale raffreddamento deriva infatti che il globo terrestre deve andare lentamente diminuendo di volume, e che le parti sue tutte devono continuamente avvicinarsi al centro e all'asse di rotazione, descrivendo intorno a questo circoli di diametro sempre decrescente. Se la durata della rotazione fosse sempre la medesima, ciascuna porzione della materia terrestre andrebbe scemando, coll'avvicinarsi all'asse, la celerità del suo moto intorno al medesimo, e poco a poco, senza causa apparente, la forza viva onde la Terra è animata andrebbe continuamente scemando, e questo impossibile essendo, poichè in natura non ci ammette perdita di movimento, ragione vuole che col diminuire del volume del pianeta nostro cresca la celerità con cui esso gira intorno al suo asse.

Nel 1848 Mayer, a cui la teoria meccanica del calore tanto dovette nei suoi primordî, pubblicò intorno all'influenza che sulla rotazione della Terra esercita l'attrazione della luna rispetto alle onde del flusso del mare, alcune idee ingegnose, le quali furono da Tyndall riprodotte popolarmente nel modo che segue. Immaginiamo che la Luna sia fissa, e che la Terra giri come una ruota da occidente in oriente, nella sua rotazione diurna. Una montagna della Terra, avvicinandosi al meridiano in cui giace la luna, si trova come attratta da questa, e diventa una specie di manivella, che obbliga la Terra a girar più presto. Ma quando la montagna ha passato il meridiano, l'azione della Luna si esercita in senso contrario e tende a diminuire la velocità di rotazione di tanto di quanto prima essa era stata accresciuta: e così avviene che l'azione esercitata dalla Luna sopra tutti i corpi fissati alla Terra viene in ultima analisi a dare un effetto nullo, e si neutralizza da sè medesima. Ma, ammettiamo che la montagna resti sempre situata all'est del meridiano della Luna: allora l'attrazione del satellite nostro si eserciterà costantemente nel senso contrario alla rotazione della Terra, di cui per conseguenza la velocità andrà decrescendo di una quantità proporzionale all'intensità dell'attrazione. L'onda del flusso occupa una tal posizione: essa è sempre situata all'est del meridiano della Luna: le acque dell'oceano sono in parte trascinate come un freno sopra la superficie della Terra, e come un freno devono ritardare la rotazione terrestre.

Esistono dunque due cause delle quali l'una tende ad accelerare, l'altra a ritardare la rotazione della Terra, e alle due accennate altre si possono aggiungere, come ogni movimento di materia che succede nell'interno della Terra o alla sua superficie, come i sollevamenti di vaste regioni per opera delle forze interiori, come il fatto che la Terra nel suo corso attraverso agli spazii celesti raccoglie continuamente delle particelle di materia cosmica erranti nel vuoto infinito. Sono cause delle quali non si può dubitare, e le quali, essendo in senso contrario e compensandosi, fanno sì che nello stato presente delle cognizioni nostre debba ritenersi che la durata della rotazione della Terra, se pure cambiò dacchè l'astronomia divenne scienza di precisione, cambiò di una quantità troppo piccola per essere direttamente e sperimentalmente dimostrata. Il giorno oggi non è certo o più lungo o più corto di un centesimo di secondo di tempo che ai tempi di Tolomeo, e molto

Le principali comete del secolo XIX.

Testa della grande cometa del 1882.

La cometa di Biela del Gennaio 1846.

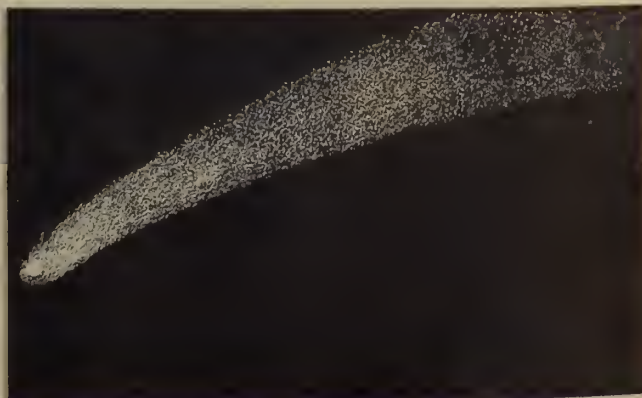
Cometa del 1 febbraio 1836.

Cometa del 1843.

Testa della cometa del 1862.

Cometa dell'Encke 1 dic. 1871.

Testa della cometa del Donati dell'Ott. 1858.

Cometa del 29 ottobre 1835.

Cometa del 1811.

La Grande Cometa del 1882.

Grande cometa del 1881.

probabilmente non cambiò da quell'epoca neppure di un millesimo di secondo. Newcomb credette che alcune irregolarità nel movimento apparente della Luna finora inesplicate possano attribuirsi ad una variazione nella durata della rotazione della Terra, ma altre ipotesi si possono immaginare atte a spiegare le irregolarità in discorso, e per quel che riguarda la mutabilità della durata del nostro giorno, tutti si accordano nel pensare che di essa debbasi prima trovare una dimostrazione diretta.

Colla durata della rotazione della Terra intorno al proprio asse ha molta affinità un'altra fra le più gravi questioni che siansi risolte nel secolo nostro, se cioè le latitudini terrestri siano o non mutabili, e, se mutabili, entro quali limiti mutino. La latitudine di un luogo della Terra dipende dalla direzione del filo a piombo o della verticale nel luogo stesso, e dalla posizione che nell'interno della massa terrestre occupa l'asse intorno a cui la Terra ruota, o, ciò che è lo stesso, dalla posizione dei poli della rotazione sulla superficie terrestre. Essa può cambiare solo: o perchè cambia la direzione della verticale nel luogo che si considera, o perchè cambia nell' interno della Terra la direzione dell'asse di rotazione, o perchè l'una e l'altra cambiano ad un tempo. Per lunghi secoli non si pensò neppure che le latitudini nostre potessero non essere costanti: nè ciò deve maravigliare fino al secolo XVII, troppo fino a quell'epoca le menti essendo soggiogate da quello che potrebbe chiamarsi il pregiudizio statico del cervello umano, che cioè nell'immutabilità e nell' immobilità stia la condizione sola e sicura della stabilità e della durabilità. È un pregiudizio che dopo Galileo e Newton non resse a lungo, e già nel secolo XVIII Eulero riuscì a stabilire (1707-1783) le leggi generali della rotazione terrestre e a dimostrare che ogni trasporto di materia o sopra o dentro la Terra, deve di necessità produrre uno spostamento dell'asse di rotazione nel corpo del pianeta. Fin d'allora si ebbero due strade aperte per lo studio dell'interessante problema; la strada teorica, dinamica se si vuole; la strada empirica ossia quella delle osservazioni dirette. Fallì la prima, e falla oggi ancora per l' incertezza delle cognizioni nostre sulla costituzione della massa interiore terrestre; fallì durante lunghi anni la seconda per le difficoltà tecniche di misurare direttamente le piccole differenze onde varia la latitudine di un luogo dato in durate accessibili all' uomo, difficoltà che da non molto furono vinte, grazie ai notevoli perfezionamenti introdotti nei metodi d'osservazione sotto il punto di vista specialmente della loro precisione.

Alcune di queste osservazioni lasciano infatti supporre che esistano nelle latitudini terrestri variazioni lente, progressive e secolari. Le misure fatte all'osservatorio di Pulkova durante più che un quarto di secolo, conducono ad ammettere che la latitudine sua diminuisca progressivamente ed uniformemente di un minuto secondo d'arco per ogni secolo, e che il polo artico della Terra si allontani ogni anno da Pulkova di tre decimetri circa; ma altre misure non meno attendibili eseguite altrove, a Greenwich ad esempio, non confermando il risultato delle osservazioni pulkovensi, giuocoforza è conchiudere che rispetto alle variazioni lente e secolari di latitudine, sensibili soltanto dopo un certo numero d'anni, nulla per il momento si può ancora affermare con sicurezza. Più espliciti si può invece essere rispetto ad altre varia-

zioni aventi breve periodo. Già nel 1885 l'astronomo Arminio Nobile era stato dalle proprie osservazioni eseguite a Napoli condotto a dubitare che la latitudine di un punto della Terra fosse un elemento variabile nell'anno entro certi limiti, ma furono le osservazioni eseguite a Berlino nel 1884, a Berlino, a Potsdam, a Praga nel 1889 e nel 1890 quelle che diedero del fatto certezza assoluta. Dimostrarono esse entro un anno una variazione analoga delle tre latitudini, compresa fra 5 e 6 decimi di secondo d'arco, corrispondente ad un movimento del polo boreale sulla superficie della Terra di poco inferiore a 20 metri. Restava il dubbio che il fenomeno potesse essere locale, ed a risolverlo furono nel 1891 e nel 1892 eseguite misure analoghe e contemporanee a Berlino, a Potsdam, a Praga, a Strasburgo e ad Honolulu nelle isole Havai o Sandwich, e da esse risultò luminosamente e sperimentalmente provato che nelle variazioni delle latitudini terrestri si ha un fatto reale, nè locale, nè regionale, ma di natura generale e che a tutta la Terra si estende. Il fatto fu in seguito pienamente confermato da osservazioni eseguite in Francia, in Inghilterra, in Italia, in Russia, negli Stati Uniti d'America, e da ricerche laboriose fatte su un gran numero d'osservazioni, di alcune delle quali la data risale al 1850. Se ne trasse anzi che il movimento del polo in questione non è nè semplice, nè uniforme, nè regolare, ma complesso e spiraliforme, che esso anzi risulta di due movimenti speciali, uno annuo che si compie in un circolo di circa m. 6,7 di diametro, l'altro ellittico, che si compie in una ovale di cui la lunghezza è poco più che 9 metri la larghezza variabile, e che ha un periodo di circa 428 giorni.

Movimenti osservati nel polo boreale della Terra dal 1895 al 1899.

Questa complessità di moto accenna a ciò che sì l'asse di istantanea rotazione quanto quello di inerzia prendono entro la gran massa terrestre posizioni diverse, e accenna inoltre ad una certa plasticità dello sferoide terrestre degnissima di nota. Si può dimostrare infatti che in ogni corpo di forma determinata ed invariabile, sia pure bizzarra o complicata quanto si vuole, esiste sempre un asse di simmetria dinamica detto asse principale di stabile rotazione e così fatto, che postosi una volta il corpo a girare intorno ad esso girerà intorno ad esso perpetuamente, ove non si oppongano resistenze od altri disturbi. Ora la Terra considerata nel suo insieme, contate l'acque e l'atmosfera come altre delle sue parti integranti, ha essa pure il suo asse principale di stabile rotazione, e osservazioni astronomiche di carattere delicatissimo conducono a credere che, se esso non coincide coll'asse di rotazione diurna, la differenza è tuttavia talmente piccola da eludere tutte le più raffinate ricerche e le misure più delicate. Girando la Terra attorno al suo asse di stabile rotazione, ove essa

fosse un corpo di struttura rigida e di figura invariabile, dovrebbe girare attorno al medesimo per tutti i secoli avvenire, ed essere quindi impossibile uno spostamento dei poli alla superficie sua. Ma di questo spostamento non può oramai dubitarsi, e la Terra deve quindi considerarsi come dotata di una certa plasticità in grazia della quale può modificare entro certi limiti la forma sua.

L'avere trasformato il problema della forma della Terra in problema meccanico porta a conseguenze finora non esplicate per intero, ma che col tempo getteranno certo gran luce su tutta la scienza della Terra in generale. La mutabilità di direzione delle verticali terrestri, le attrazioni locali che ne sono la causa, le deviazioni che in punti diversi della Terra la gravità presenta rispetto al suo valor normale, le variazioni a breve e a lungo periodo delle latitudini terrestri, le corrispondenti oscillazioni dei poli della rotazione della Terra sono fatti che in ultima analisi dipendono dalla massa terrestre, dalla varia densità delle diverse parti di essa massa, dalla composizione varia, dal carattere diverso delle masse superficiali, delle profonde, delle continentali, delle sub-oceaniche, dalle variazioni loro incessanti. Dati questi ultimi elementi, si possono per mezzo dei prinicpii della meccanica dedurre i primi; viceversa conosciuti i primi per mezzo di osservazioni dirette si potrà da essi risalire agli ultimi, rispetto ai quali ancor poco sappiamo. Se le oscillazioni dei poli della rotazione terrestre dipendono dallo stato di coesione della crosta terrestrre, ragione vuole che dalla conoscenza sperimentale di esse oscillazioni risalire si possa a cognizioni sicure sulla coesione stessa, sulla natura della superficie secondo la quale la Terra qua e là si plasma, sui rapporti reciprochi delle diverse parti sue continentali ed oceaniche, sulla stabilità maggiore e minore dei rapporti medesimi, e quindi sulla climatologia generale della Terra, sui fatti più importanti della geologia e della vita stessa terrestre.

VII.

Luna: teorie e tavole lunari — Accelerazione secolare del movimento lunare — Costituzione fisica della luna — Luce e calore lunare — Atmosfera della luna — Questione riguardante la mutabilità o l'inalterabilità della superficie lunare — Carte della luna — Fotografie sue — Saturno — Suo nuovo e nono satellite — Sistema degli anelli di Saturno e sua mutabilità — Teorie matematiche relative al sistema stesso — Condizioni fisiche probabili del corpo del pianeta — Massa di Saturno e teorie de' suoi satelliti — Urano — Sua teoria — Suoi satelliti — Sua forma — Sua rotazione — Suo spettro luminoso.

a luna, malgrado i suoi raggi argentei, malgrado la sua giovinezza immortale e tutta quell'aureola di purissimo misticismo, onde l'hanno circondata gli uomini, che sulla terra fanno professione più o meno aperta di sentimentalismo, è fra i corpi del cielo quello che ha dato agli astronomi più a pensare e a lavorare. Il sempiterno calle, battuto dalla luna nelle stellate vie del firmamento, varia in un modo veramente sempiterno e disperante. La luna si aggira, è vero, intorno alla terra come a un centro, e forma colla medesima un solo sistema, ma la massa prepotente del sole, agendo in modo sensibile e diverso sulla terra e sul suo satellite complica stranamente la teoria del movimento di quest'ultimo, la quale in ultima analisi diventa un caso speciale del difficile problema conosciuto in meccanica sotto il nome di problema dei tre corpi. Uomini sommi lavorarono intorno ad essa, e noi abbiamo la teoria della luna elaborata da Clairaut nel secolo scorso, la teoria pubblicata da Laplace in sul principio del secolo XIX, le teorie del secolo nostro dovute a Plana, a Hansen, a Delaunay, nelle quali l'importanza dei termini diversi è determinata con criterii di un ordine esclusivamente algebrico, la teoria di Airy la quale parte dalle espressioni numeriche di Delaunay come da numeri fondamentali, esprime ogni coefficiente per mezzo del suo valore numerico, e con criterio esclusivamente aritmetico determina l'importanza dei termini singoli. Tavole lunari diverse furono calcolate, quelle di Tobia Mayer del secolo scorso, quelle di Bürg del 1806, quelle di Burckardt del 1810, quelle di Damoiseau del 1824, quelle di Hansen del 1857 ancor oggi universalmente usate; ma nessuna delle tavole calcolate bene rappresenta tutte le osservazioni lunari, nessuno dei grandi teorici nominati riuscì finora a stabilire un' armonia completa fra la teoria e le osservazioni della luna. Le tavole stesse di Hansen che pur corrispondono appieno alle osservazioni del tempo nostro, non rappresentano più per epoche lontane i fatti osservati, e questo fu da non pochi dimostrato, fra gli altri dall'astronomo G. Celoria nelle sue ricerche intorno ad alcune eclissi antiche e medioevali.

Una delle questioni che ha gran parte nella teoria della luna, e che nel secolo nostro fu oggetto di lunghi, pazienti e geniali studi, è quella che riguarda l'accelerazione secolare del movimento lunare. È certo che nei tempi antichi il moto della luna era meno veloce, è certo ancora che nel corso dei secoli il medio movimento lunare venne progressivamente accelerandosi. Dapprima si ritenne questa accelerazione uguale a circa 12 minuti secondi d'arco in un secolo, e secondo Laplace a spiegare gravitazionalmente la medesima

bastava la progressiva deformazione dell'ellisse che la terra descrive intorno al sole. Plana, Damoiseau, Hansen, camminando sulle orme di Laplace, confermarono che l'accelerazione di 12 secondi accusata dalle osservazioni antiche era intieramente spiegata dall' attrazione universale, ma Adams nel 1853, e dopo di lui Lubbock, Donkin, Cayley, Delaunay dimostrarono che l'analisi di Laplace e de' suoi imitatori era incompleta e che l'accelerazione del movi-

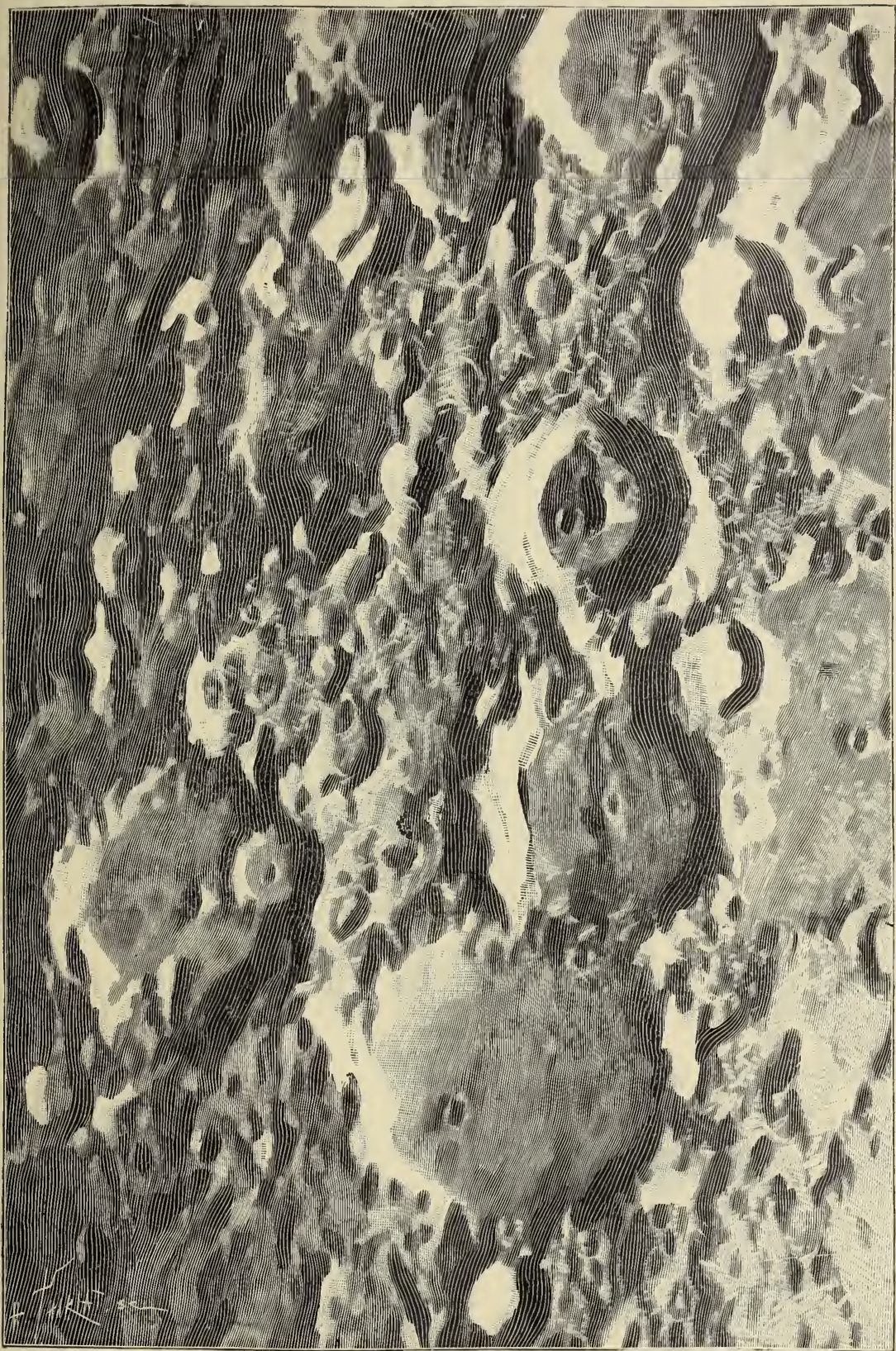
La Luna.

mento secolare della luna, quale risulta dalle leggi della gravitazione universale, è di 6 minuti secondi circa, la metà appena di quella che empiricamente si riteneva meglio rispondesse alle osservazioni dei Caldei, dei Greci e degli Arabi. Si riteneva, perchè Newcomb con lavoro lungo e tenace, sottoponendo a calcolo un numero grandissimo di osservazioni, riuscì a provare che le eclissi del'l'Almagesto e degli Arabi non meno che le antiche occultazioni di stelle bene si accordano col valore teoretico dell'accelerazione secolare, e a porre così per questo lato i fatti in armonia perfetta colla teoria. Ciò malgrado

però, se nelle tavole lunari di Hansen si introduce il valore dell'accelerazione secolare del movimento medio lunare dato dalle leggi della universale attrazione, resta pur sempre che, a mettere le medesime in accordo coi fatti, bisogna rassegnarsi a introdurre un nuovo termine empirico di origine finora inesplicata. Tentarono taluni di spiegarlo con un rallentamento della velocità rotatoria della terra; Newcomb stesso, Neison, Hill dimostrarono nella teoria del moto lunare una nuova sebbene piccola ineguaglianza dovuta all' azione di Giove, ma la vera spiegazione gravitazionale della pur necessaria ineguaglianza empirica non fu per anco trovata. È un problema che il secolo nostro lega al venturo, e non è il solo, poichè insoluta finora rispetto alla luna va la più gran parte dei problemi riguardanti la costituzione fisica.

La luna impiega lo stesso tempo a compiere una rotazione intorno a sè ed una rivoluzione intorno alla terra, epperciò dei due emisferi lunari l'uno è sempre rivolto alla terra, l'altro è sempre alla medesima opposto, e rimane, meno piccole porzioni, perpetuamente celato al nostro occhio. Secondo Hansen i due emisferi lunari, il visibile e l'invisibile, sarebbero l'uno dall'altro diversissimi, la superficie stessa della luna non sarebbe una superficie di livello, e sebbene l'emisfero ver noi rivolto appaia sterile, privo di atmosfera e senza traccia di vita, potrebbe l'emisfero opposto avere e atmosfera, e vegetazione, e vita. Delaunay e Newcomb distrussero, parmi a ragione, quest'opinione di Hansen la quale troppo è contraria a tutto quello che sulla forma in generale delle superfici dei pianeti e dei satelliti sappiamo, e la quale accenna sulla luna ad un ordine di fatti interamente opposto a quello che ci circonda sulla terra, e che ha per sè il doppio fondamento dell'esperienza e del raziocinio; ma certo è che l'ordine di cose esistente sull'emisfero lunare alla terra costantemente opposto sarà sempre uno degli arcani del cielo impenetrabili alla nostra curiosità.

La luna riflette verso la terra luce solare, e colla luce irradia calore, che solo i termo-moltiplicatori più delicati avvertono. Qualche cosa le osservazioni del secolo nostro ci appresero intorno a questo calore di irradiamento; possiamo affermare che il calore cui la terra riceve dalla luna sta a quello che essa riceve dal sole come il numero 1 sta al numero 184560; sappiamo che, durante una eclissi lunare totale, la luna, sulla quale il sole ha per parecchi giorni dardeggiato i suoi raggi, d'un tratto, appena la luce diretta del sole le vien tolta, perde ogni calore, nè più dà segno di irradiazione termica; argomentiamo di conseguenza che tutto il calore irradiato dalla luna, una parte minima e trascurabile esclusa, viene intercettato, assorbito dalla nostra atmosfera, prima che esso arrivi alla superficie della terra; ma nulla sappiamo di certo circa la temperatura assoluta alla superficie lunare, che alcune osservazioni vorrebbero uguale a quella dell'acqua che agghiaccia; se la luna abbia o non, come la terra, un calore interno d'origine, l'ignoriamo; incapaci siamo di assorgere con sicurezza dai dettagli che vedonsi sulla superficie della luna allo stato vero e completo delle cose sovr' essa; ignoriamo tuttora in gran parte le condizioni fisiche sulla luna prevalenti.

Non v'è ragione per pensare che sulla luna non sieno esistiti un tempo oceani e atmosfera, acqua ed aria. Di acqua oggi più non s' incontra traccia

Grandi crateri lunari.

alla superficie; probabilmente gli oceani di un tempo furono tutti assorbiti dalla formazione della corteccia lunare; gli elementi costitutivi dell'acqua passarono a comporre la crosta lunare, e formano oggi parte integrante di corpi solidi del guscio suo. Il fatto che la superficie lunare è un sesto della terrestre, mentre la massa della luna è appena un ottantesimo di quella della terra, la grande sproporzione che fra superficie e massa esiste nella luna, quando per termini di confronto si prendano la superficie e la massa della terra, può fino ad un certo punto spiegare la scomparsa degli oceani lunari, ma con minor fortuna può applicarsi alla scomparsa di ogni atmosfera. La sproporzione di cui è parola avverte che un'atmosfera lunare deve avere una densità ben più piccola di quella dell'atmosfera nostra, che un'atmosfera deve sulla luna occupare un volume relativamente molto più grande di quello occupato dall'atmosfera terrestre, ma un'atmosfera così tenue e così vasta è

Dettagli della luna: La vallata delle Alpi lunari e il circo di Platone secondo Nasmyth e Carpenter.

ben difficile che siasi per intero esaurita. Nè le osservazioni più attendibili affermano questo esaurimento: esse sono invero piuttosto favorevoli all'esistenza di un'atmosfera lunare, pur confermando che la densità sua deve essere piccolissima.

La parte che un'atmosfera, sia pur rara, esercita sulle variazioni della temperatura e di conseguenza sull'economia tutta di un corpo cosmico è grandissima, e finchè l'esistenza di una qualche atmosfera attorno alla luna rimane dubbia, poco di concreto potrà concludersi sulle condizioni fisiche della sua superficie; ma, se atmosfera non esiste, certo è che alcune plaghe della luna, quando sovr'esse il sole dardeggia, debbono essere cocenti, e devono, scomparso il sole, discendere a temperatura bassissima. Se atmosfera invece esiste, diversissime diventano le massime e le minime temperature dei paesi lunari da quelle precedentemente considerate, più piccole le differenze loro, e tanto più piccole se favorevolmente cambiano la densità e l'altezza dell'atmosfera stessa. Nulla per via di induzione, di analogia o di calcolo può quindi nello stato

attuale delle cognizioni nostre affermarsi rispetto alla questione che da tanto tempo dibattesi, se cioè l'aspetto della superficie della luna debba o non riguardarsi come immutabile ed inalterabile, questione grave per sè medesima, ma anche più perchè un'altra ne involge più generale, se cioè la massa lunare abbia o non raggiunto il suo equilibrio definitivo, e le forze interiori, ancor tanto attive sulla terra, abbiano sulla luna cessato o non di operare.

A risolvere un sì attraente problema non resta che studiare direttamente, osservare minutamente e di continuo la superficie lunare, ma anche per questa via poco cammino finora si è fatto. Dapprima si ricorse alle carte lunari, disegnate dal vero, l'occhio al cannocchiale, trasformate poi e riprodotte in grande scala; alla carta di Mädler e Beer (1834), alla carta di Lohrmann (1828, 1876), alla carta di Schmidt, l'ultima pubblicata e molto ricca di dettagli; ma le discrepanze fra l'una e l'altra carta, fra le carte e quello che

Dettagli della luna: Copernico, gli Apennini, il Caucaso, il Mare delle Pioggie e le regioni vicine.

da qualche osservatore accidentalmente fu visto, non si poterono mai unanimemente e con sicurezza attribuire a mutamenti reali della superficie lunare, e rimase sempre un dubbio fondato che in esse si trattasse piuttosto di dettagli divenuti visibili per circostanze eccezionali di illuminazione e di prospettiva. Non appena si cominciò a parlare di fotografia astronomica, si vide tosto in essa il mezzo più efficace di cui possa disporsi così per la costruzione delle carte della luna, come per lo studio dei dettagli della superficie sua, e a cominciare da Warren De la Rue fino ad oggi fu una gara incessante a chi meglio riuscisse nell'intento. Insuperabili paiono oramai le fotografie lunari eseguite all'osservatorio Lick in California, e a quello di Parigi; di quest'ultime per opera di Loewy e di Puiseux si incominciò nel 1896 la pubblicazione in un grande e pregiato atlante; altro atlante fotografico fondato precipuamente sulle negative della luna fatte all'osservatorio Lick si va pubblicando a Praga dal professore Weinek; ma argomenti favorevoli alla mutabilità della superficie lunare visibile anche le fotografie finora non

li diedero. A compiere l'intrapresa peregrinazione storica attraverso al Sistema del sole, resta che brevemente si accenni a Saturno e a Urano; brevemente, perchè la via lunga ne sospinge.

Attorno a Saturno si librano, scrivono concordi i trattati di astronomia, otto satelliti, per ordine di distanza così disposti: Mimas, Enceladus, Tethis, Dionis, Rhea, Titanus, Hyperion, Japetus. Il settimo di essi, Hyperion, è il solo che siasi scoperto nel secolo nostro, e lo fu nel settembre del 1848 quasi contemporaneamente da Lassell e da Bond; gli altri sette sono scoperte tramandate al secolo nostro dai secoli XVII e XVIII. Oggi agli otto e da tempo noti satelliti un altro bisogna aggiungerne, il nono, il quale fu scoperto per mezzo della fotografia dall' astronomo W. H. Pickering, uno degli addetti alla Specola del Collegio Haward, in una serie di osservazioni fotografiche eseguite durante l'agosto del 1898 all'osservatorio succursale di Arequipa nel Perù. Fu stimato di decimaquinta grandezza, ed è fra tutti i satelliti il più lontano dal pianeta; il moto suo apparente è lentissimo; compie una rivoluzione in 17 mesi; lo si ritiene difficilissimo ad essere osservato direttamente anche coi cannocchiali più potenti.

Attorno a Saturno si libra un anello concentrico al pianeta, situato quasi sul prolungamento del piano del suo equatore, assai esteso nel senso della retta che, a partire dal centro del pianeta, nel piano dell' equatore e dell'anello, va verso la periferia di questo; assai esile nel senso perpendicolare a questa retta. È il mirabile anello lucido, del quale le apparenze diverse già da Huygens nel 1659 furono spiegate, per il quale Saturno rimane unico e senza simili fra i corpi del cielo conosciuti, e intorno al quale molto lavorarono gli astronomi del secolo XIX. Già Cassini (1715) osservato aveva che il medesimo non è nè semplice nè uniforme nella costituzione sua, e che risulta di due anelli separati l'uno dall'altro da una larga zona oscura. Kater e Encke notarono in sul principio del secolo nostro che l' esteriore dei due anelli lucidi visti da Cassini è esso stesso separato in due da una specie di anello oscuro interposto, e Bond nel 1850 primo avvertì fra l'anello interiore luminoso di Cassini e la superficie del pianeta un nuovo anello concentrico ai precedenti, ma interamente oscuro e visibile specialmente per l' ombra che proietta. Nel 1884 i fratelli Henry si avvidero con somma meraviglia che della divisione oscura di Encke più non era possibile scoprire la più piccola traccia, e notarono nella divisione oscura di Cassini un anello sottile luminosissimo, perfettamente definito, nuovo e non mai veduto. L' importante fatto non riuscì interamente nuovo. Ripassando gli annali delle osservazioni astronomiche, si incontrano, rispetto agli anelli di Saturno, frequentemente accennate da osservatori esperimentati ed abilissimi apparenze nuove non vedute prima, non rivedute poi, e questi fatti, che dopo l'introduzione dei forti cannocchiali si sono andati notando con frequenza sempre maggiore, portano naturalmente a pensare che gli anelli stessi non sono stabili, ma soggetti a variazioni continue.

Il superbo e complesso insieme degli anelli di Saturno, la incessante mutabilità in essi osservata ispirarono via via nel secolo nostro intorno alla costituzione loro teorie matematiche diverse, colla più recente delle quali

essi possonsi perfettamente spiegare. Già Giovanni Herschel ritenne l'anello di Saturno come gasoso, e come una miscela di gas e di vapore, simile a quella onde risultano le nostre nubi. Secondo Herschel, ove esso fosse solido e continuo, non si capisce come potrebbe, attesa la sua estrema sottigliezza, resistere senza sfasciarsi allo sforzo incessante, che nella sua massa nasce dalle differenti intensità della forza centrifuga a suoi contorni esterno ed interno, forza della quale non può dubitarsi poichè se il sistema degli anelli esiste lo si deve a ciò che è animato da un rapido movimento di rotazione nel proprio piano. Secondo Herschel e Bond le numerose fascie oscure osservate sulla superficie luminosa dell'anello non esistono da ogni tempo ma hanno una origine recente, e sono la conseguenza dello stato di fluidità in cui la materia dell'anello si trova. Maxwel invece, considerando la questione da un punto di vista puramente meccanico, ha dimostrato che gli anelli di Saturno per rimanere costantemente in equilibrio, devono risultare da una quantità di corpuscoli staccati, che si aggirano attorno al pianeta con velocità diverse, a seconda della loro distanza dal medesimo. Secondo Maxwel questi corpuscoli possono passare nelle loro orbite irregolarmente dall'uno all'altro degli anelli luminosi, oppure possono essere disposti in modo da continuare l'orbita loro rimanendo costantemente in uno stesso anello, ed in questo caso l'intero sistema sarebbe certo in condizioni di stabilità e permanenza assai più favorevoli che non nel precedente. A conseguenze analoghe fu nel 1872 condotto Hirn, considerando la questione da un punto di vista fisico e termodinamico. Dietro gli studî di Hirn, gli anelli di Saturno non possono essere solidi e continui, non possono del pari essere o fluidi aeriformi o liquidi, ma devono essere semplici aggregati di materia discontinua, di cui le parti sono separate da intervalli grandissimi rispetto alle loro dimensioni. Che gli anelli di Saturno non possano essere solidi e continui lo dimostrò brillantemente per mezzo di osservazioni spettrografiche nel 1895 l'astronomo americano Keeler, e d'altra parte i fatti generalmente osservati non sono incompatibili colle idee di Maxwel e di Hirn; con esse anzi si accordano mirabilmente la trasparenza dell'anello oscuro osservata da Lassell, la mutabilità delle dimensioni degli anelli luminosi avvertita da Struve e da altri, la mutabilità incessante di tutto il sistema degli anelli posta in evidenza dalle osservazioni più attendibili. Che se gli anelli lucidi sono opachi, ciò può provenire da che i corpuscoli, onde essi risultano, sono troppo frequenti e numerosi per dare libero passaggio ai raggi luminosi, senza contare che l'opacità loro, secondo alcune osservazioni di Faye, non è assoluta, ma solo relativa.

Dettagli della luna: Cratere Copernico.

Nè il corpo stesso del pianeta, considerato dal punto di vista fisico, manca di interesse. Sulla sua superficie appaiono qualche volta macchie ben definite, temporariamente permanenti, dall'osservazione delle quali fu dedotto il periodo

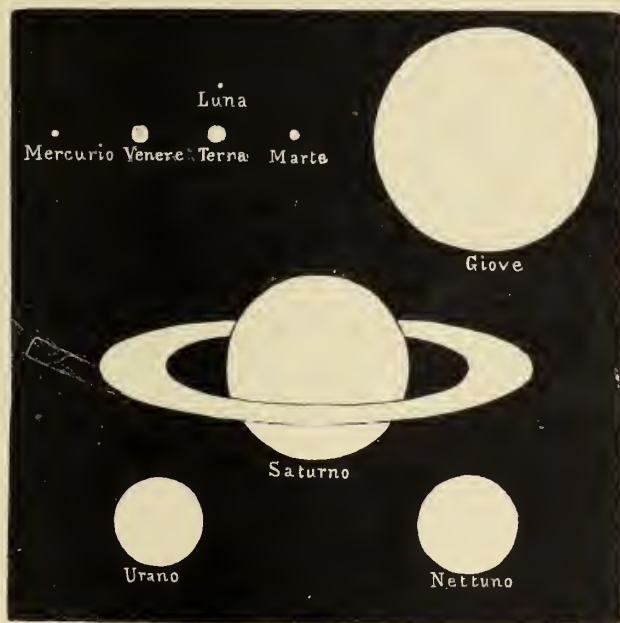
di tempo in cui il pianeta ruota intorno a sè medesimo, periodo che, secondo i diversi osservatori, oscilla fra 10 ore 12 minuti, e 10 ore 14 minuti e che da una parte accenna ad una rotazione certo rapidissima del pianeta, dall'altra a ciò che le diverse macchie osservate non mancano di moti proprii dovuti alle condizioni di incessante mutabilità in cui la superficie del pianeta si trova. Tutto porta a credere che la massa di Saturno è per intiero od in massima parte ancor fluida; sullo spettro di Saturno non fu possibile riscontrare deviazione alcuna dallo spettro solare; in non lungo tratto di esso furono viste 30 delle righe di Fraunhofer; in altre parole le righe numerose dello spettro di Saturno coincidono con quelle dello spèttro del sole, e Saturno splende per luce solare riflessa, la massa sua gasosa o almeno l'atmosfera sua esercitando sui raggi del sole un'efficace azione assorbente. Certo Saturno è circondato da una profonda e densa atmosfera; probabilmente la sua massa stessa è ancora in tutto o in massima parte allo stato di fluidità; certo corsa e ricorsa da correnti irregolari ed impetuose ne è l'atmosfera; certo incessantemente sconvolta ne appare la superficie visibile.

Saturno.

Un corpo ricco di satelliti come Saturno offre il migliore e piu spontaneo mezzo alla determinazione della massa sua. Bessel da osservazioni di Titanus, presa per unità di massa quella del sole, dedusse per la massa di Saturno il valore espresso dal rapporto 1 : 3501,6; Asaph Hall da osservazioni di Japetus dedusse il valore 1 : 3482,2; Iacob da osservazioni di Titanus dedusse il valore 1 : 3487,2; Ball da osservazioni di Japetus e di Titanus dedusse il valore 1 : 3492.8: Ermanno Struve da osservazioni dei satelliti stessi dedusse il valore 1:3498,0. Si continua a preferire fra tutti il valore trovato da Bessel, perchè le ricerche di Hill intorno alle perturbazioni mutue di Giove e di Saturno non mostrano punto necessario per la massa di quest'ultimo un valore diverso dal besseliano.

Le numerose misure eseguite sui satelliti di Saturno permisero di elaborarne con precisione oramai sufficiente le teorie. Nei movimenti del satellite Hyperion erasi osservata una rapida e inesplicata rivoluzione retrograda dello asse maggiore dell'orbita. Newcomb riuscì a dimostrare che essa proviene dall'azione perturbatrice dell'altro e prossimo satellite Titanus, del quale Newcomb stesso, Tisserand, Stone, Hill, Struve determinarono la massa, riuscendo però a valori troppo diversi fra loro per essere, almeno per il momento, ritenuti attendibili.

Urano non può certo gareggiare con Saturno per la ricchezza e varietà del sistema suo, ma possiede esso pure quattro satelliti, Ariel, Umbriel, Titania, Oberon, e dal punto di vista gravitazionale fu lungamente studiato da Leverrier e da Newcomb, il quale ultimo riuscì a dare di esso una teoria eccellente e a pubblicare del movimento suo tavole universalmente accettate. Dei quattro satelliti, i più lontani, Titania ed Oberon, furono trovati nel 1787 dallo stesso Guglielmo Herschel, lo scopritore del pianeta; gli altri due, Ariel e Umbriel, furono scoperti nel 1851 a Malta da Lassell con un riflettore di un piede di diametro, e osservati in seguito da non pochi, fra gli altri da Lassel stesso nel 1863 ancora a Malta con un nuovo e potente telescopio di quattro piedi. In generale i satelliti di Urano sono fra gli oggetti del cielo i più difficili ad essere osservati e veduti; ad essi arrivasi solo con telescopi e rifrattori fra i più potenti; credettero alcuni di averli visti anche con rifrattori di soli 30 centimetri di apertura, ma le osservazioni dimostrarono in seguito essere costoro stati tratti in inganno da piccole stelle vicine al pianeta.

Sulla forma di Urano rimasero a lungo discordi gli osservatori, non potendosi direttamente ben definire, se essa sia quella di una sfera perfetta oppure quella di uno sferoide rotante schiacciato ai poli della rotazione. Alcune osservazioni eseguite nel 1883 e nel 1884 misero fuori di dubbio l'ellitticità del suo disco apparente, confermata ancora dalla rapida rotazione del pianeta determinata da Perrotin, e di durata uguale a 10 ore circa. Sulla superficie di Urano esistono infatti macchie e striscie di vario colore, alcune delle quali qualche volta permangono un certo tempo e possono servire a determinare la rotazione del pianeta, ma si tratta di dettagli difficilissimi a vedere, e dagli osservatori dichiarati come oggetti al limite della visibilità degli strumenti da loro usati. Anche lo spettro luminoso di Urano è di difficile osservazione; esso dimostra che la luce solare riflessa dal pianeta subisce assorbimenti di natura singolare, e lascia supporre in Urano condizioni analoghe a quelle esistenti in Saturno e specialmente in Nettuno. Certo attorno ad Urano esiste una potente atmosfera che esercita sulla luce solare un notevolissimo assorbimento; nè è improbabile che il pianeta stesso sia tuttora in tutto, o in grandissima parte almeno, allo stato gasoso.

Grandezza comparativa dei pianeti.

VIII.

Sole: Sua teoria. — Sue tavole. — Suo moto di traslazione. — Sua distanza dalla terra. — Suo diametro apparente. — Suo diametro reale. — Sua massa. — Fisica solare. — Fotosfera. — Significato delle righe di Fraunhofer. — Struttura e materiali della fotosfera. — Macchie. — Rotazione del sole. — Distribuzione e periodicità delle macchie. — Teoria intorno alla loro natura. — Dettagli e struttura della fotosfera. — Eclissi totali di sole. — Canone delle eclissi. — Cromosfera, protuberanze. corona del sole. — Luce zodiacale. — Protuberanze bianche. — Nucleo solare e relative ipotesi. — Energia del sole. — Luminosità, calore e temperatura. — Stato delle cognizioni nostre intorno al sole. — Problemi che l' avvenire dovrà risolvere a riguardo del sole.

Il sole è il centro intorno al quale gravita tutto il sistema planetario, e intorno a cui come a fuoco si aggirano in altrettante orbite ellitiche tutti i pianeti, la terra non eccettuata. Come tale, fu oggetto di studii lunghi e sapienti, e può dirsi che intorno ad esso come a nucleo siasi venuta via via svolgendo l'astronomia matematica e gravitazionale dei secoli XVI, XVII, XVIII e XIX. Gli uomini attribuiscono inconsciamente al sole il moto che in realtà la terra compie nello spazio, e gli astronomi, seguendo in questo il linguaggio umano, parlano nei libri loro di una teoria del sole che nel fatto è la teoria della terra, di tavole solari che in ultima analisi sono invece tavole per mezzo delle quali si calcola la posizione che in ogni istante dato la terra occupa librandosi nello spazio. Nel secolo nostro la teoria del sole fu portata a singolar perfezione per l'opera assidua di molti e celebri astronomi: Delambre, Laplace, Burckhardt, South, Poisson, Nicolai, Bessel, Le Verrier, Newcomb; tavole del sole appoggiate agli elementi di Delambre furono pubblicate nelle Effemeridi astronomiche di Milano per l' anno 1811 da Francesco Carlini; nuove tavole fondate su elementi più corretti furono dallo stesso Carlini date in luce nel 1833; nuove tavole trasse infine dagli elementi proprii l'astronomo Le Verrier, tavole oggi universalmente usate e contenute nel volume IV degli annali dell'osservatorio di Parigi uscito nel 1858.

Dal moto apparente del sole dato da queste tavole va ben distinto il moto di traslazione che il sole, seco trascinando e terra e pianeti, realmente compie attraverso allo spazio, moto che è una trovata del secolo nostro e uno dei fatti meglio constatati in astronomia. Intorno al medesimo si hanno oggimai una ventina circa di ricerche pazientissime, l' una dall' altra indipendenti e tutte accordantisi. Per esse può affermarsi che il sole va avvicinandosi ad un punto del cielo, apice del moto solare o semplicemente apice del sole, situato nella costellazione di Ercole a 267 gradi circa di ascensione retta e press'a poco a 31 di declinazione boreale. Con quale velocità il sole vada muovendosi verso l'apice suo non si può dire con certezza; questo può solo affermarsi che è una velocità d'ordine cosmico, valutata con soddisfacente approssimazione in sedici chilometri per ogni minuto secondo, velocità vertiginosa per le menti nostre avvezze alle piccole velocità dell'ambiente terrestre, velocità pari del resto a quelle con cui muovere devesi ogni stella se sfuggir deve alla captura delle altre stelle.

Uno degli elementi che nella teoria del sole e in generale in tutti i calcoli della meccanica celeste ha grande importanza è la distanza che separa

il sole della terra, e che in astronomia si usa esprimere per mezzo dell'angolo sotto cui stando nel sole si vedrebbe il raggio equatoriale della terra, parallasse del sole. In sul principio del secolo nostro si ritenne generalmente per questa parallasse il valore 8", 813 dedotto da Laplace discutendo le osservazioni dei passaggi di Venere sul sole avvenuti nel 1761 e nel 1769, ma in seguito, grazie alla difficile interpretazione delle osservazioni stesse, grazie ai calcoli fatti da Delambre, da Lalande, da Ferrer, da Burg, da Encke si adottò per una trentina d'anni circa il valore 8", 57, valore troppo piccolo e accettato tuttavia con grande fiducia, a scuotere la quale furono necessarî i colpi replicati di Airy, di Hansen, di Le Verrier, di Foucault. Pochi elementi possono in astronomia determinarsi con metodi più diversi che la parallasse del sole; pochi valori dipendono da più gran numero di ricerche indipendenti fra di loro. La si può dedurre, oltrechè dai passaggi di Venere sul sole, dalla velocità della luce combinata col tempo da essa impiegato a percorrere il semigrandasse dell'orbita terrestre così come è dato dalla osservazione delle eclissi dei satelliti di Giove; dalla velocità della luce stessa combinata invece colla costante dell'aberrazione delle stelle fisse; dalle opposizioni del pianeta Marte o di alcuni dei piccoli pianeti osservati da luoghi della terra molto distanti fra loro; dalla ineguaglianza parallatica lunare che dipende dalla diversa efficacia della azione perturbatrice del sole sul movimento dalla luna secondo chè essa è luna nuova o piena; dall'equazione lunare del sole, la quale nasce da ciò che nella teoria gravitazionale del sole si considera il centro di gravità della terra e della luna, mentre nelle osservazioni meridiane del sole si fa capo al centro di figura della terra. Di questi metodi diversi alcuni erano già noti agli astronomi del secolo passato, altri la più gran parte si devono agli astrotomi del secolo XIX, e tutti indistintamente furono nel secolo nostro usati con singolare perizia e spirito di precisione. Fra i lavori ai quali essi diedero luogo è notevolissimo quello dell'astronomo americano Newcomb, in seguito al quale dalla conferenza internazionale detta delle stelle fondamentali radu-

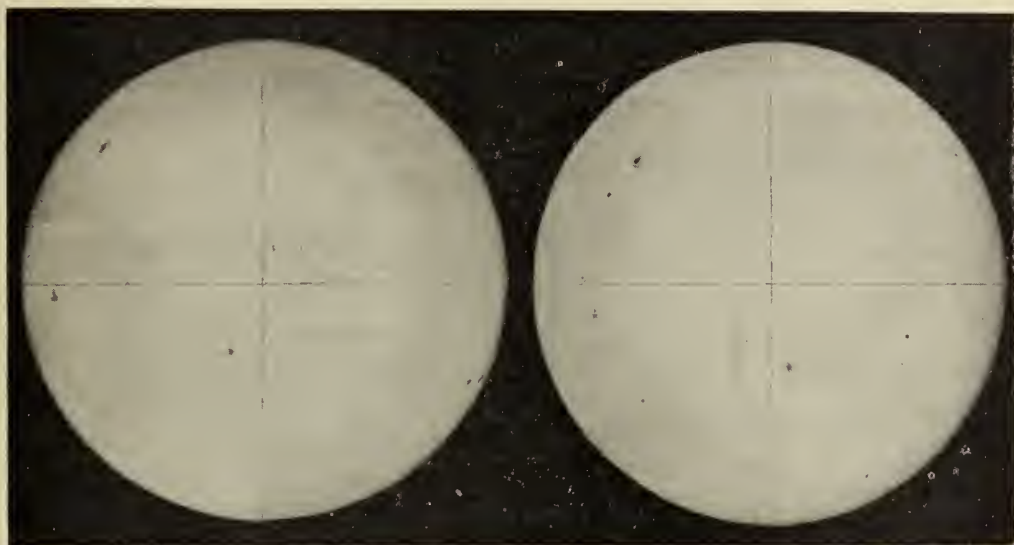
Padre Angelo Secchi.

natasi in Parigi nel 1896 fu adottato per la parallasse del sole il valore 8",80. Al medesimo corrispondono 23439,18 raggi terrestri; e, se si assume il raggio terrestre uguale a chilometri 6377,323, corrispondono 149,480,000 chilometri. Esiste tuttora in questo valore una incertezza grave, la quale dipende in parte dall'incertezza che tuttora regna intorno alla lunghezza del raggio terrestre e la quale può stimarsi un quattro centesimo del valore stesso, ma è una incertezza dalla quale possono far astrazione le pubblicazioni di scienza popolare.

Data la parallasse del sole diventa possibile calcolare il vero valore del diametro solare che in media sottende un angolo apparente di 32' 3", 64. Rispetto al medesimo si agitò intorno al 1870 la questione se esso non fosse soggetto a variazioni continue dipendenti dalle condizioni incessantemente mutabili della intera massa solare, ma le ricerche di Respighi e di Auwers dimostrarono l'insussistenza di siffatte variazioni, e permettono di affermare che il diametro del sole misura in media 1394000 chilometri con una incertezza di 7000 chilometri circa, che la massa del sole è di 322800 volte la massa terrestre, che in altre parole il sole pesa 322800 volte più che la terra. Sono numeri questi dei quali per la grandezza loro è difficile farsi un concetto concreto, ma che valgono a dimostrare meglio d'ogni discorso la stupefacente grandiosità dei fatti tutti che formano l'oggetto della fisica solare.

Queste due parole sfuggitemi dalla penna accennano ad una delle creazioni scientifiche più geniali del secolo nostro, ad un capitolo interamete nuovo della fisica, ad una di quelle scienze intermedie che rimarranno una caratteristica del pensiero moderno. È la fisica solare una scienza irta di problemi difficilissimi finora risolti solo in parte; il secolo XIX la tramanda incompleta al secolo XX, ma già oggi essa nello scibile umano è una delle gemme più fulgide. Lo spettroscopio e la fotografia sono le due armi delle quali essa si vale, armi potenti e moderne che gli astronomi appresero ad usare con rara perizia in ricerche di una tecnica squisitissima.

Della superficie luminosa del globo solare da noi direttamente veduta, sia ad occhio nudo, sia attraverso ad un cannocchiale, ancora verso il 1850 si conosceva poco più che il nome, fotosfera. Si erano sovr'essa fin dal secolo XVII notate le celebri macchie, le quali diedero a Galileo occasione di scrivere splendide pagine polemiche contro agli avversari suoi, ma anche sulle macchie limitatissime erano le cognizioni acquisite. Fu la spettroscopia che snebbiò le menti umane rispetto a tutto ciò che riguarda la fotosfera, ed essa appartiene per intero al secolo XIX. Sorse nel 1814 con Fraunhofer e colla scoperta delle righe oscure spettrali che portano il suo nome; ebbe in seguito via via cultori ardenti e geniali, Swan, Zantedeschi, Herschel, Wheatstone, Foucault, Draper, Stockes, Thomson, Angstrom; fu portata a compimento e trasformata in corpo vero di dottrina nel 1859-1860 da un lavoro che fa epoca dovuto a Kirchhoff e Bunsen, i quali dimostrarono il significato e l'importanza grande delle righe di Fraunhofer. Grazie alla spettroscopia fu possibile affermare con fondamento che le righe oscure dello spettro solare sono conseguenze di vapori metallici esistenti nel sole i quali assorbono parte della luce che dal sole emana, che esse sono righe lucide dello spettro del sole

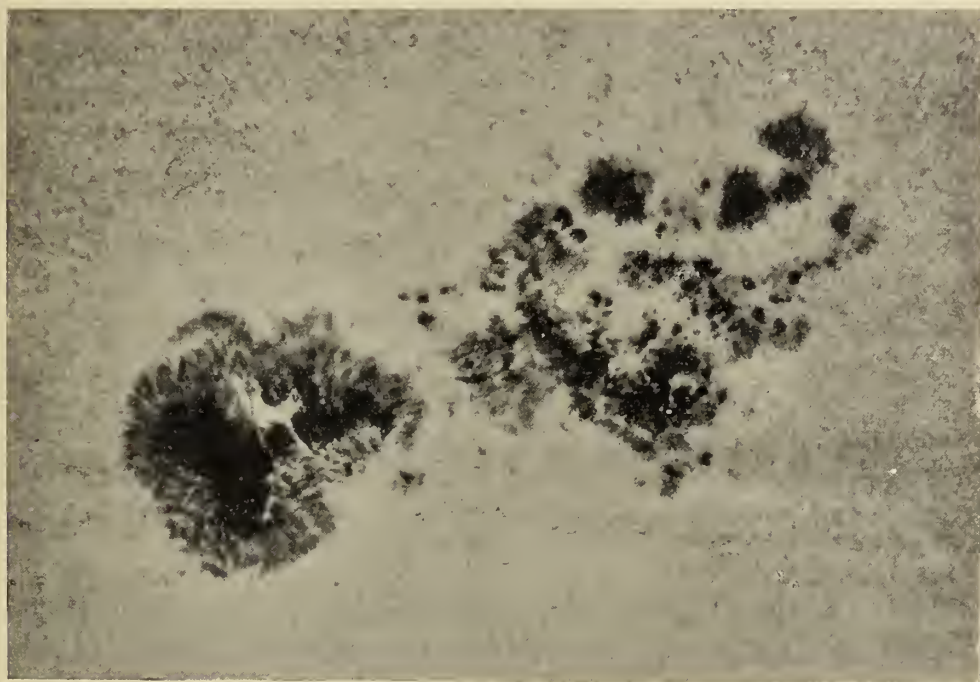
assorbite e rovesciate in oscure da vapori metallici solari. Sul sole esiste una superficie o meglio uno strato splendente, di temperatura altissima, che emette luce complessa e di ogni colore; al di sopra di esso un altro strato esiste, di temperatura meno alta, ma tale ancora da mantenere allo stato di vapore metalli che su la terra si mostrano allo stato solido. Lo strato lucido e di elevatissima temperatura è la fotosfera stessa; lo strato di meno alta temperatura, che avvolge la fotosfera, è il così detto strato o guscio di rovesciamento. Questo guscio è sottile, ed è quasi un' atmosfera formata di vapori metallici a temperature meno alte di quelle proprie alla fotosfera; esso irradia una luce meno potente della fotosferica, e solo a fronte di questa scompare. Non tutto l'assorbimento però che è causa delle righe di Fraunhofer

Fotosfera e piccole macchie solari.

succede entro il guscio di rovesciamento e lo dimostra il fatto osservato per primo da Young nell'eclissi del 1870. Una parte di esso assorbimento ha luogo ad un livello più alto, e l'assorbimento della luce, che emana da un dato materiale della fotosfera, succede per gradi ed in istrati ad altezze diverse; gli assorbimenti speciali che così produconsi, insieme riuniti, dànno luogo al fenomeno completo accusato dalle righe oscure. È questo un fenomeno il quale all'evidenza dimostra essere la superficie del sole formata da uno strato di fiamme e di nubi infuocate ondeggianti. Nubi per sè medesime luminose, goccie di metalli fusi formano la fotosfera, e la massa solare in cui esse sono sospese è comparabile alle fiamme di un incendio che infuria con impeto e intensità superiore ad ogni immaginazione umana. In questa massa a temperatura altissima esistono vapori di sodio, di ferro, di calcio, di magnesio, di borio e di molti altri materiali che il lettore può trovare enumerati nelle monografie scritte sul sole dal nostro Secchi e dall' astronomo americano Young; esiste l'ossigeno come per primo dimostrò Draper; mancano o almeno non si potè mai dimostrare con rigore l' esistenza dei materiali terrestri più comuni, fatto strano e notevolissimo che Lockyer tentò spiegare ma che

rimane finora inesplicato; fenomeni grandiosi e attraentissimi di questa massa fotosferica sono le macchie.

Le macchie fin dall'epoca di loro scoperta valsero a dimostrare che il sole ruota intorno a sè medesimo, ma era riservato alle misure del secolo nostro, alle osservazioni di Spoerer e di Secchi, a quelle sovratutto eseguite fra il 1853 e il 1861 da Carrington, il darci della rotazione del sole un concetto completo. La rotazione della fotosfera solare non è infatti la stessa sotto ogni parallelo, e i fili successivi e contigui della sua enorme massa fluida hanno velocità diverse, decrescenti regolarmente e progressivamente dall'equatore ai poli, sicchè sopra i due paralleli posti nei due emisferi solari a trentanove gradi dall'equatore, la rotazione superficiale è di due giorni interi più lenta che all'equatore stesso. Mentre a quest'ultimo la durata della rotazione è di 25,2 giorni, a quarantacinque gradi di latitudine è di giorni 27,7. Carrington, Faye, Spoerer, Zöllner, Tisserand cercarono di esprimere con formule matematiche il complesso moto diurno della superficie solare, ma sono formule empiriche, la spiegazione fisica e la causa della complessità di tal movimento non essendo peranco conosciuta, e le osservazioni poco di preciso permettendo di affermare in proposito al di là dei 45 gradi di latitudine solare. Forse colla legge della rotazione del sole è connesso il fatto che le macchie sono rarissime al di là del trentesimo grado di latitudine eliocentrica, sono rare verso l'equatore solare, e si mostrano in più gran quantità in due zone, poste simmetricamente a nord e a sud dell'equatore stesso, fra il decimo e il trentesimo grado di latitudine, fatto questo del pari inesplicato, così come tuttora inesplicate vanno molte delle osservazioni che si riferiscono alla natura delle macchie.

È difficile e quasi impossibile ridurre ad unità i fenomeni presentati dalle macchie, tanto i medesimi sono diversi da macchia a macchia, così rapide incessanti e varie sono in generale le variazioni di una stessa macchia. Certo è che le apparizioni delle macchie sono soggette ad una legge determinata, e che il loro numero varia in modo costante e periodico, prendendo nello intervallo medio di undici anni (11,111), determinato con molta precisione dall'astronomo Wolf di Zurigo, un valore massimo e un valore minimo, ma certo è ancora che il periodo undecennale stesso va soggetto a variazioni sensibili, e che la causa del medesimo non fu ancora trovata. Certo è che lo spettro delle macchie è, con poche e piccole differenze, solcato trasversalmente dalle stesse righe oscure che lo spettro ordinario del sole, e che nelle regioni delle macchie si hanno quindi le stesse emanazioni di luce e gli stessi assorbimenti che nella rimanente fotosfera; probabilissimo è ancora, quasi certo anzi, che le macchie sono cavità, avvallamenti sottoposti al livello generale della fotosfera del sole, ma nulla di veramente attendibile può finora dirsi intorno alla natura e all'origine loro. Gli stessi rapporti che le macchie possono avere con alcuni dei fatti terrestri e che formeranno oggetto di altri fascicoli della presente pubblicazione, sono tuttora controversi, e a poter affermare qualcosa con sicurezza intorno ai medesimi bisogna che prima siasi fatta una sforia completa della superficie solare, storia che certo col tempo potrà trarsi dalle osservazioni quotidiane dei nostri osservatorî astrofisici alcuni

dei quali, come quelli di Meudon e di Potsdam, dedicano alla fotografia della fotosfera solare strumenti e cure speciali. Sarà forse allora possibile il dare una teoria completa delle macchie del sole, nessuna delle oggi esistenti tale essendo. Poco interesse possono oramai ispirare le teorie le quali suppongono liquida la superficie del sole oppure solido il nucleo suo, ma le due teorie oggi rivali, quella di Faye che considera le macchie come effetti di tempeste solari, quella di Secchi che le considera come dense nubi di materiali eruttivi deponentisi sulla fotosfera in punti vicini a quelli in cui furono eruttati, sono esse stesse insufficienti. Nessuna teoria delle macchie solari si può considerare come completa se non dà ad un tempo ragione della loro distribu-

Grandissima macchia e fotosfera solare.

zione e della loro periodicità così come degli altri loro più immediati fenomeni telescopici e spettroscopici, e una tal teoria rimane uno dei temi che la scienza tramanda al secolo venturo.

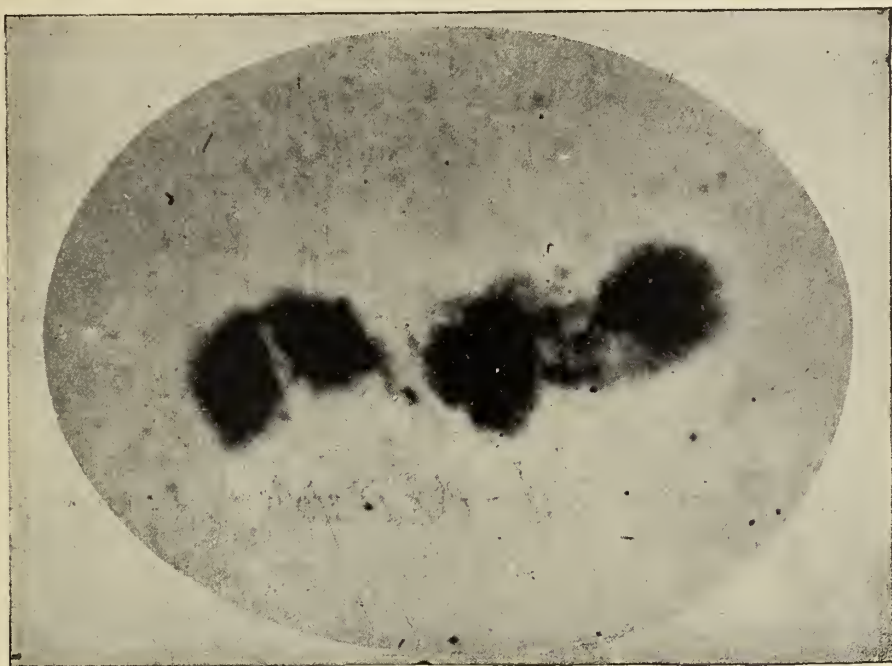
Le macchie furono per lungo tempo il solo dettaglio della fotosfera studiato, ma altri non meno importanti dettagli inaspettati posero in evidenza la maggior forza dei cannocchiali moderni e sopratutto la fotografia. Già le osservazioni di Secchi, di Langley e di altri lasciavano supporre quale nel fatto fosse la struttura della fotosfera, ma furono le fotografie quelle che per intero la svelarono, le fotografie perfettissime sopratutto ottenute da Janssen con esposizione istantanea all' osservatorio di Meudon presso Parigi.

La fotosfera non è continua, nè uniforme, nè immobile; è mobilissima, agitata sempre e tutta da moti grandiosi, a intervalli violentissimi; è disuguale, scabra, sparsa di punti lucentissimi, granuli, separati tra loro da interstizi meno lucidi, per legge di contrasto oscuri, quasi neri in apparenza; e

questi interstizi oscuri, disseminati di granuli lucidi, discontinui, dànno alla fotosfera l'aspetto di una rete a maglie molto minute, una struttura retiforme. I granuli per il loro grande splendore risaltano come punti di fuoco sulla fotosfera; se ne incontrano in questa per ogni dove; hanno un'esistenza propria ed indipendente, ma hanno insieme una tendenza marcatissima a riunirsi, come se dominati da attrazioni reciproche. Talora si radunano in gruppi di due tre . . . dieci e formano grani, per il loro aspetto, detti di riso. Talora si dispongono in lunghe serie, e solcano la fotosfera con filamenti quasi vene luminose. Caratteri loro precipui sono lo splendore e la mobilità; costituiscono il dettaglio minimo, gli ultimi elementi visibili della fotosfera; in apparenza sono punti lucidissimi, in realtà, posta la grandissima loro distanza dalla terra, misurano centinaia di chilometri. Essi, coi grani di riso, colle vene lucide, colla struttura retiforme formano i dettagli minori e da poco tempo noti della fotosfera, della quale dettagli ben maggiori, altrettanto visibili che le macchie, sono le facole. Queste appaiono più facilmente distinte verso il contorno del disco visibile del sole; così come i granuli hanno uno splendore vivissimo, e per esso risaltano sullo stesso fondo lucente della fotosfera. Sono lunghe, sottili, ramificate, e si direbbero cordoni lucenti della fotosfera stessa. Costituiscono infatti le parti più brillanti e le più elevate del disco solare, sono numerosissime, partecipano come le macchie al movimento generale di rotazione del sole; come le macchie, come i dettagli tutti della fotosfera solare non ebbero ancora spiegazione certa.

Il sole non finisce alla sua fotosfera, alla superficie sua visibile così come giudicando dalle apparenze gli uomini sempre ritennero, ma è circondato da una vasta ed eterogenea atmosfera ordinariamente invisibile. Quando la luna, portata dal suo moto, viene di quando in quando a porsi esattamente fra la terra e il sole, in modo da coprire col suo corpo opaco l'intero disco solare, e totalmente offuscarlo per alcune regioni terrestri, succede quello che chiamasi una eclissi totale di sole. Poco a poco la luna si avanza sul disco solare, e appena l'ultima falce di questo scompare, comincia la fase detta della totalità, fase che dura poco, sei minuti primi al più, ordinariamente due circa. È un fenomeno abbastanza frequente ed attraentissimo, descritto in cento libri, che fece in ogni tempo e fa sugli uomini una grande impressione, che oggi ha una importanza solo secondaria per l'astronomia matematica e di precisione, ma ne ha una grandissima per l'astro-fisica. Alla storia delle eclissi in generale appartiene il Cànone delle eclissi pubblicato nel 1887 dall'astronomo Teodoro von Oppolzer, poco prima che morte lo cogliesse, dopo breve e acuta malattia, a soli 45 anni. È un volume ponderoso, nel quale Oppolzer aiutato da forti collaboratori, Anton, Ginzel, Haerdtl, Herz, Kühnert, Mahler, Meyer, Rüling, Schwarz, Strobl, calcolò e raccolse i dati necessarî per ottenere in modo facile e spedito tutte le circostanze delle 8000 eclissi di sole e delle 5200 eclissi di luna avvenute e da avvenire nei 3370 anni che si estendono dal 1207 avanti G. C. al 2163 della nostra èra.

È durante le eclissi totali di sole che la gran massa gasosa esistente al di sopra della fotosfera diventa osservabile. Non appena, cominciata la totalità, il corpo opaco della luna campeggia al posto del sole sotto forma di

un disco color nero d'inchiostro, appare attorno ad esso un'aureola di forma irregolare, bianca, perlacea, debolmente luminosa, detta corona, nella quale fiamme rosse (protuberanze) prendono tratti diversamente lunghi del nero disco lunare, quasi montagne e catene infocate che da questo si innalzino. Di queste protuberanze non è fatta menzione nelle cronache antiche, ma non si può per ciò affermare che esse sieno un fatto recente del sole; le si incontrano per la prima volta osservate nel 1733 e nel 1778; furono messe in piena evidenza dalla celebre eclissi del 1842, durante la quale l'ombra proiettata dalla luna percorse una larga zona attraverso al sud della Francia, al nord dell'Italia e a parte dell'Austria; furono confermate dalle osservazioni della

Grandi macchie solari, agosto 1894.

eclissi del 1851, e sopratutto dalle fotografie felicemente riuscite a Secchi e De La Rue della eclissi del 1860.

La luce delle protuberanze appare semplice e monocromatica, ma non è abbastanza intensa per vincere la luce diurna diffusa della nostra atmosfera. Nel 1868 Janssen e Lockyer con felice intuito, indipendentemente l' uno dall'altro, pensarono che smorzando in qualche modo la luce diurna diffusa dell'atmosfera terrestre, sarebbesi resa sensibile e visibile quella delle protuberanze, e trovarono che a raggiungere lo scopo bastava l'uso dello spettroscopio. Da quell'epoca le protuberanze diventarono fenomeni possibili ad essere ogni giorno osservati; tenendo la fessura dello spettroscopio tangente o perpendicolare all'orlo del sole si potè constatare ad ogni momento la loro presenza; aprendo alquanto, così come primo fece Huggins, la fessura stessa si riuscì a vedere collo spettroscopio la loro immagine completa; con opportune modificazioni dello spettroscopio si potè osservare ad un tempo le macchie, una parte del disco solare e le protuberanze. Si potè allora dimostrare che

quei tratti rosei visti a contatto del disco lunare durante le eclissi fanno parte di un anello continuo, cromosfera, che involge da ogni parte il sole, e dal quale le protuberanze si sollevano; si potè dimostrare ancora che cromosfera e protuberanze sono parti integrali del sole; quella come un guscio ne avvolge lo strato di rovesciamento e la fotosfera, queste si staccano dalla cromosfera e sono un fenomeno solare ordinario.

Per 23 anni le ricerche sulla cromosfera e sulle protuberanze furono fatte tutte allo spettroscopio, oggi si può utilizzare inoltre la fotografia. Bisognava per riuscire nel difficile intento ricorrere a radiazioni della cromosfera e delle protuberanze che avessero sulla pellicola sensibile un'azione molto intensa ed efficace, e a ciò riuscirono, indipendentemente l'uno dall'altro, nell'anno 1891 l'astronomo americano Hale e l'astronomo francese Deslandre utilizzando le righe H e K dello spettro della cromosfera e delle protuberanze, righe poste verso l'estremo violaceo dello spettro, poco brillanti all'occhio ma intensamente attiniche e attribuite al calcio. Fu questo un grande successo. Le osservazioni dirette fatte allo spettroscopio, erano necessariamente limitate allo stretto anello cromosferico esistente attorno al bordo del disco solare. La più gran parte della cromosfera, quella che si proietta sul disco del sole, ad esse sfuggiva per intero. Altrettanto non avviene al metodo fotografico di indagine. Le stesse righe H e K che così bene si prestano a fotografare la cromosfera e le protuberanze del bordo, permettono di riconoscere giornalmente e con grande sicurezza la cromosfera sull'intero disco solare, e di riconoscerla così come se uno la vedesse isolata dalla fotosfera.

Le protuberanze hanno uno spettro discontinuo nel quale predominano le righe caratteristiche dell'idrogeno. Di ogni protuberanza si ottengono nello spettroscopio tre immagini, una rossa, una verde, una azzurra, ma fra esse la rossa-carminio corrispondente alla riga C è di gran lunga la più intensa e viva, ed è quella che meglio ne caratterizza il colore e che noi pure riproducemmo nei disegni nostri. Analogo è lo spettro della cromosfera, ed essa e le protuberanze sono quindi masse gasose, formate in gran parte di idrogeno. Questo rappresenta il loro materiale costante e che non manca mai, ma dell'una e delle altre la composizione chimica, è assai più ricca. Si incontrano nei loro spettri di frequente le righe lucide corrispondenti al magnesio, al ferro, al sodio, al titanio, al calcio, al bario, al nichelio, al cromo, al rame, e sempre si incontra inoltre vicino alle righe del sodio, più a destra di esse, una riga gialla, per qualche tempo colla D del sodio confusa, ed ora distinta colla lettera D_3, riga caratteristica di una materia fino a questi ultimi giorni ignota sulla terra, e che gli astronomi chiamano helium. L'idrogeno e l'helium sono quindi i due costituenti principali e costanti della cromosfera e delle protuberanze, ma gli spettri dell'una e dalle altre stanno in rapporti non del tutto chiari finora con quello della fotosfera, e presentano particolarità non ancora completamente studiate. Questo, quanto allo spettro e alla composizione chimica. Per quel che riguarda forma e struttura, la cromosfera appare alla sua base terminata nettamente e regolarmente in arco circolare, e alla sommità sua si mostra ordinariamente irregolare; la sua altezza varia nelle diverse parti del contorno del sole, ma non supera mai i 12 secondi d'arco, 8648 chilometri;

la sua struttura è filamentosa, quasi risultasse da fasci di getti sottili di luce; nel suo insieme è qualche cosa di caratteristico e di ben distinto da un'atmosfera nel senso ordinario della parola; probabilmente è prodotta da eruzioni continue del sottoposto globo solare. Da essa erompono le protuberanze la cui somiglianza per forma e struttura colle nubi terrestri salta subito all'occhio; alcune sono quiete, relativamente permanenti, idrogeniche; altre si spingono a grandi altezze di decine perfino di centinaia di migliaia di chilometri, cambiano rapidamente di forma, e son sempre vicino a qualche macchia. Molto di arcano v'è tuttora in esse, ma certo non possono essere semplici sollevamenti della cromosfera, nè i loro fenomeni possono spiegarsi colla diffusione e coll'espansione di gas diversi in un mezzo rarefatto. Esse erompono dal corpo solare, sono di queste esplosioni violente, e i loro materiali di eruzione pare portino nel proprio seno cause gagliarde, elettriche forse, di smembramento e di dissoluzione.

La cromosfera e le protuberanze sono fra le parti che costituiscono il sole le ultime scoperte; già nota agli antichi invece era la corona, intorno alla quale si ebbero però sempre opinioni divise, molti attribuendola fino al principiare del secolo nostro alla luna, considerandola altri fino al 1869 come un fenomeno dell' atmosfera terrestre. Essa può tuttora bene osservarsi soltanto durante le eclissi, e alcuni tentativi fatti per fotografarla a sole non eclissato e di pieno giorno non riuscirono mai in modo soddisfacente. Certo la corona fa parte integrante del sole, sebbene di esso non costituisca un'atmosfera propriamente detta. Essa non preme sulla superficie del sole, nè esercita sui proprî elementi gasosi una pressione crescente coll'avvicinarsi dei medesimi alla superficie stessa; non prende parte alla rotazione del sole, e i materiali onde risulta devono essere tenuissimi, sì che le comete li attraversano senza risentire perturbazioni sensibili. Cromosfera, protuberanze, corona formano attorno al sole un involucro gasoso, di forma non sferica e a contorno estremamente irregolare e variabile, involucro formato non da strati sovrapposti e di diversa densità, ma piuttosto da fiamme, da getti radiali, da pennacchi transitorî e instabili quanto quelli delle nostre aurore boreali.

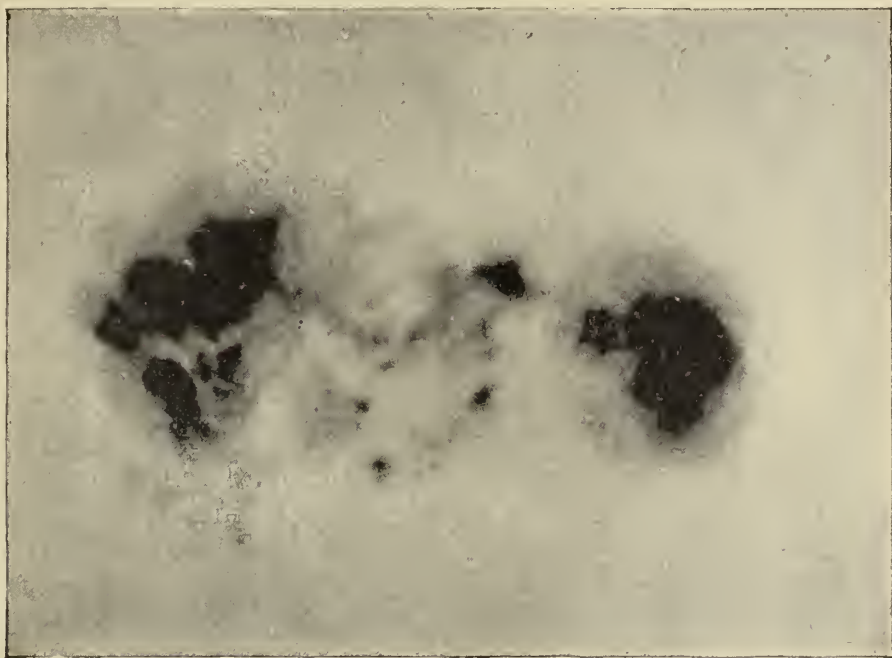
Aspetto del sole nei cannocchiali durante un'eclisse solare.

È sempre la spettroscopia quella che autorizza la più gran parte di queste affermazioni. Durante l'eclissi del 1871 fu dimostrato per la prima volta che lo spettro della corona risulta di uno spettro continuo il quale presenta alcune delle righe di Fraunhofer, e di uno spettro discontinuo sovrapposto contenente parecchie righe lucide, fra le altre le righe dell'idrogeno, ed una riga verde prodotta da materia fino allora completamente ignota, coronio, la riga 1474

dello spettro di Kirchoff. La corona, se ne dedusse, non è un'apparenza ottica, non è un semplice fenomeno di riflessione o di diffrazione, nel qual caso il suo non potrebbe essere che uno spettro solare pallido e affievolito; essa è un fenomeno d'origine interamente e unicamente solare, e, al di sopra della fotosfera e della cromosfera, essa forma un ultimo guscio irregolare attorno al sole; sovrincombe alla cromosfera, e da questa distinta e separata, si innalza trenta volte circa più che non essa. La sua costituzione è complessa: il suo spettro discontinuo a righe lucide dimostra che essa contiene gas in istato di ignizione; il suo spettro continuo debolissimo, dimostra che essa contiene materiali capaci di riflettere la luce, forse allo stato di polvere minutissima quasi nebbia. Se da questi materiali i gas incandescenti sieno o non separati, per il momento nessuno lo sa.

Ribelli ad ogni formola sono i particolari di struttura della corona, così come ribelli sono le figure delle nostre fiamme e delle nostre nubi. Col cambiare dei fenomeni della fotosfera solare la corona muta e forma e spettro. Quando le macchie sono in un momento di minimo, quando la cromosfera essa pure è in istato di quiete relativa e le protuberanze sono poche e piccole, vedonsi a stento nello spettro coronale le sue righe lucide, e l'attenzione degli osservatori è per intero attratta dallo spettro continuo prodotto dalla luce emessa o riflessa dai rimanenti materiali minutissimi solidi o fluidi della corona. Quando la fotosfera solare si esalta, quando il numero delle macchie è massimo e la superficie del sole è in pieno sconvolgimento, allora impallidisce, scompare quasi dallo spettro coronale lo spettro continuo, e invece sua diventa cospicuo e predominante lo spettro discontinuo colle sue righe lucide e diversamente colorate. Durante le eclissi che avvengono nel periodo della massima attività solare, la corona mostra maggior splendore, e si svolge quasi simmetrica tutt'attorno al sole. Se l'eclissi succede in un momento di minimo delle macchie, la corona appare più pallida e stranamente dissimmetrica rispetto al contorno del sole. Appunto durante queste ultime eclissi si son veduti slanciarsi al di sopra del contorno esterno della corona, a distanze grandissime, degli strascichi immensi di luce persistente, i pennacchi. Che cosa precisamente questi sieno la scienza non lo sa ancora. Se sieno una dipendenza della corona oppure sciami meteorici che gravitino attorno al sole, se abbiano o no qualche attinenza reale colla luce zodiacale, alla quale per più riguardi somigliano e la quale costituisce un fenomeno quasi altrettanto misterioso, non si sa dire. Forse coi pennacchi hanno qualche attinenza le protuberanze bianche osservate da Pietro Tacchini durante le eclissi del 1883 e del 1886, protuberanze non più visibili in pieno sole e per conseguenza una cosa affatto diversa dalle ordinarie protuberanze gasose idrogeniche. Molti ritengono col Tacchini che queste protuberanze bianche sieno formate da materiali solidi, ma prima che sia possibile pronunciarsi in proposito senza esitare occorrono altre osservazioni. Piena d'arcani è quindi ancora questa corona del sole, che alcuni impropriamente chiamano atmosfera coronale. La corona è uno degli arcani che la fisica solare del secolo nostro lega al venturo.

Del sole, per il punto di vista stesso dal quale siamo costretti a stu-

diarlo, noi conosciamo poco più che i fenomeni superficiali. Attraverso alla corona trasparentissima l'occhio nostro vede le protuberanze e la cromosfera, e, grazie alla diafanità di quest ultima, arriva ancora a vedere lo strato di rovesciamento sottilissimo e al di là di esso la fotosfera, la quale può ritenersi sia uno strato di nubi metalliche incandescenti. Della fotosfera conosciamo la superficie esteriore, ineguale, instabile, priva d' ogni caratteristica geografica, che per estesi tratti, da un istante all'altro diversi, si innalza sotto forma di facole, e per non meno vaste estensioni si avvalla sotto forma di macchie; ma quale sia la profondità della fotosfera, quale la sua superficie interiore, ignoriamo affatto. Al nucleo solare, che pur contiene i nove decimi della

Macchie solari.

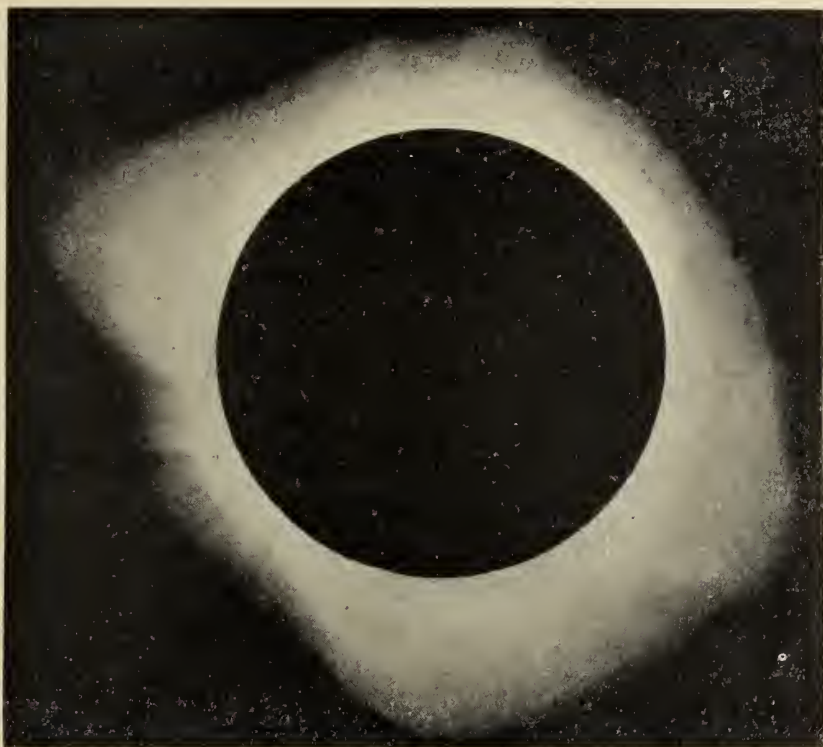
gran massa del sole, l'osservazione diretta non arriva, e la sua natura, e la sua costituzione sono argomenti di pure supposizioni, intorno alle quali si professano opinioni le più disparate. Il regno sconfinato delle opinioni, che pur troppo nella vita ha sì gran parte, non ha nulla di comune con quello a confini certi, quasi geometricamente definiti del vero e della scienza; nè lo scienziato vero volontieri vi si avventura. Fra le molte opinioni che un giorno parvero verosimili e il domani non erano più quelle, mi limito a riferire quella che oggi predomina, l'opinione cioè che il sole sia interamente gasoso. È un'opinione verosimile, dettata: dalle altissime temperature esperimentate alla superficie: dalla piccola densità media della massa del sole, che riferita a quella della terra è espressa dal numero 0,253, riferita a quella dell'acqua dal numero 1,406: dalla considerazione che sul sole la pressione e la temperatura debbono crescere rapidamente a partire dalla superficie verso il centro. Nè vale l'obbiezione che coll'aumentare della pressione e della densità i gas dovrebbero liquefarsi, e l'altra che colle enormi pressioni interne della massa

solare lo stato gasoso sia inconcepibile. Perchè un gas si liquefi si richiede aumento di pressione e diminuzione di temperatura; per ogni gas anzi vi è una temperatura detta critica, e finchè la temperatura non discende sott'essa nessun aumento di pressione può determinare un gas a diventar liquido. Da altra parte il sole gasoso non deve concepirsi somigliante all'aria nostra nelle sue caratteristiche evidenti; esso è invece vischioso come una massa di pece, ed è gasoso in quanto gode le proprietà fisiche caratteristiche dei gas, cioè espansione continua per diminuzione di pressione senza presentare mai una superficie libera di equilibrio, espansione indefinita per aumenti di temperatura senza che si raggiunga mai un punto di ebullizione, e, nel caso di miscela di gas differenti, diffusione uniforme di ciascuno di essi indipendentemente dai pesi specifici relativi. Per quanto questa ipotesi del sole gasoso sia oggi verosimile, in quanto essa non richiede sul sole l' esistenza di materie e di forze alla fisica sconosciute, e in quanto un globo gasoso quale si è appena immaginato presentar deve necessariamente i fenomeni stessi che il sole presenta, non vale la pena di troppo oltre sovr'essa soffermarsi, perchè scopo del presente lavoro è di tratteggiare il progresso dei veri astronomici, non di riprodurre le opinioni degli astronomi su questo o quell'argomento ancor dubbio e non abbastanza studiato.

Grandi frasi si sono scritte in ogni tempo intorno al sole: simbolo e ministro della divinità; vita della terra; dio dalle chiome d' oro; dio degli dei; occhio splendente dell'universo . . . ma nessuna equivale per forza ed efficacia a quella che la scienza può oggi affermare. Grazie ai principii della correlazione delle forze e della conservazione delle energie, le più splendide dimostrazioni del genio umano nel secolo XIX, la scienza afferma oggi che solare è l' origine delle varie energie dalle quali dipendono i fenomeni terrestri, che dal sole emana tutta l'energia la quale opera nei fenomeni terrestri tutti, meccanici, chimici, vitali.

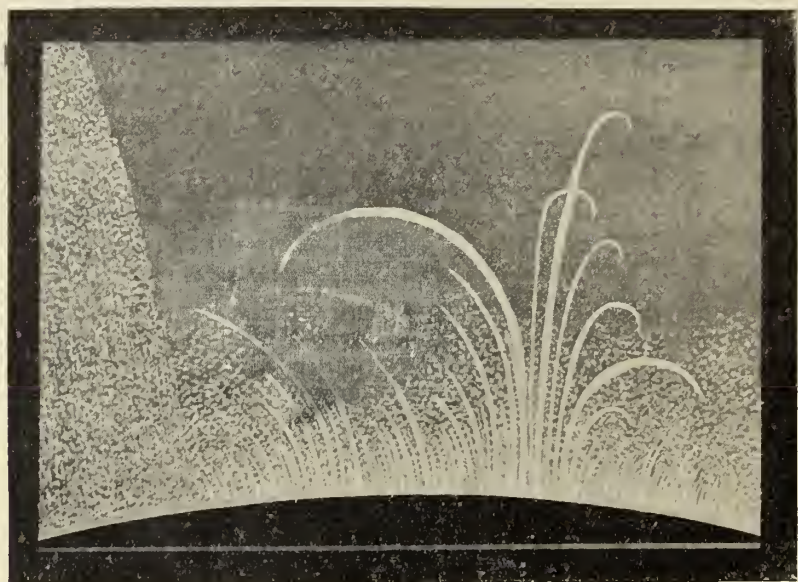
Fra queste forme diverse dell'energia solare, le meno ascose sono certo la termica e la luminosa, per quanto l'una e l'altra non determinate finora con precisione sufficiente. Fu trovata la luminosità intrinseca della superficie solare uguale a 190000 volte quella di una candela, a 146 volte la luminosità della calce incandescente, a quattro volte quella dell'arco elettrico, a 5300 volte la luminosità che emana dalla superficie incandescente dei metalli fusi, ma sono numeri incerti e rispetto ai quali non è possibile consenso unanime. Si è provato che i raggi del sole, i quali cadono verticalmente sopra un centimetro quadrato di superficie terrestre, sono capaci in un minuto di tempo di aumentare di un grado centigrado la temperatura di quasi due (1,7633) grammi d'acqua, e questa quantità di calore fu chiamata la costante solare, ma le ricerche recenti portano il numero 1,7633 a 2,54 a 2,85 e anche più, e tutte accennano a dare un maggiore piuttosto che un minor concetto dell'energia termica del sole.

Si direbbe cosa facile risalire dal calore che il sole irradia e che l'esperienza dimostra alla temperatura solare. Così non è. Noi possiam dire di ignorarla ancora questa temperatura, poichè le numerose ricerche fatte intorno ad essa condussero a risultati concreti troppo discordi, a numeri che da una

parte oscillano fra 1398 e 20380 gradi centigradi, dall'altro cominciano da 4 milioni di gradi e vanno fino a 7 milioni e più. Le ragioni sono due: noi non conosciamo ancora il rapporto che esiste fra la temperatura di un corpo e il suo potere di irradiazione, e l' esperimento nulla può insegnarci circa questo rapporto che possa con sicurezza applicarsi al sole, tanto potente è in questo l'energia termica e tanto è superiore alle energie sperimentabili; il sole in secondo luogo splende meno verso il suo contorno, più verso il mezzo del suo disco, e questo fatto accenna ad un assorbimento della luce e del calore fotosferico solare prodotto da un mezzo che avvolge la fotosfera, assor-

Corona solare.

bimento di cui la misura ci è ignota. Si tentò di risalire alla temperatura del sole partendo, invece che dal suo calore irradiato, dalla teoria meccanica del calore e dai getti di materia gasosa, quali le protuberanze che nel sole si osservano. Anche per questa via si ottennero risultati troppo diversi fra loro per essere attendibili, e ciò perchè non abbastanza bene si conoscono le circostanze di fatto che accompagnano lo svolgersi delle protuberanze.

A conti fatti molte e straordinarie cose il secolo nostro ci apprese intorno al sole, ma molte più son quelle tuttora avvolte dal più profondo arcano. Come spiegare la legge speciale secondo cui il sole ruota? Come spiegare la periodicità delle macchie e il modo di loro distribuzione? Quale è la vera misura delle diverse radiazioni solari? Quale la vera temperatura del sole? Come si spiegano le protuberanze? Come la corona? Quali rapporti corrono fra i gas incandescenti e gli altri materiali riscontrati sul sole al di sopra della sua fotosfera? Esiste una legge che lega le condizioni mutabili di questa

fotosfera ad alcuni dei fatti più notevoli della fisica terrestre? Il solo è desso una sorgente inesauribile di luce e di calore? Diventa esso sempre più piccolo e nel contrarsi genera esso costantemente il calore che prodiga alla terra ed ai pianeti? Queste ed altre numerose domande il secolo che muore rivolge a quello che sta per sorgere, e intanto la scienza la quale ogni giorno accenna a volersi sempre meno pascere di vento e di astrazioni, la quale è venuta assumendo un carattere esplicitamente applicativo, e le ricerche sue rivolge ad un maggior benessere umano, sta escogitando il modo di utilizzare le energie del sole, che l' uomo con una fatale spensieratezza secolare lasciò ognora libere di espandersi nello spazio. Scienziati sommi si preoccuparono e si preoccupano dell'importante problema, nè la soluzione fallirà. Mi sovvengo a questo proposito di aver letto di un apparecchio esistente nel laboratorio di Nicola Tesla, del quale l' ardito fisico americano diceva con quel senso pratico che omai è caratteristico del paese suo, ecco il modello in miniatura dell'apparecchio col quale conto che fra alcuni anni si avrà luce e calore senza bisogno di legna, carbone, petrolio, gas o elettricità. Si tratta semplicemente di addomesticare i raggi del sole, di renderli maneggiabili non solo per i macchinisti delle officine, delle locomotive, dei tramways e via, ma anche per gli accendi fanali e per le cuoche.

Protuberanze bianche.

IX.

Astronomia stellare — Cataloghi delle stelle — Revisione del cielo boreale fatta da Argelander e impulso da essa dato all'astronomia siderale — Lavori di Beniamino Gould — Grande numero dei cataloghi pubblicati — Carta astro-fotografica e catalogo fondato esclusivamente su osservazioni fotografiche — Fisica stellare — Spettri delle stelle e tipi ai quali si possono ridurre — Relazione fra lo spettro, la temperatura e la costituzione chimica di una stella — Stelle multiple — Scintillazione, colore, e grandezza delle stelle Stelle variabili — Nebulose — Sintesi dei progressi astronomici nel secolo XIX — Avvenire dell'astronomia.

Noi tocchiamo ora alla più antica delle discipline umane, all'astronomia stellare. Il suo libro maraviglioso è aperto all'uomo da tempo immemorabile e le sue pagine splendenti parlano da secoli il più attraente e poetico dei linguaggi. In tal libro immortale fissarono l'occhio i primi pastori erranti e i popoli posteriori o inciviliti o corrotti, gli uomini più semplici e gli spiriti più sublimi. Ne nacque una scienza, la cui storia si immedesima colla storia dello spirito umano, e porta in sè l'impronta delle strane aberrazioni di questo e delle sue superbe speculazioni. Essa cominciò dal descrivere e dall'annoverare pazientemente le stelle del cielo, ed ancor oggi gli astronomi dedicano a questo scopo parte della loro attività. Sono cambiati i metodi, perfezionati i modi di osservazione, ma lo scopo è pur sempre quello di notare ad una ad una le stelle del cielo e di scriverne in libri determinati, cataloghi stellari, le posizioni precise. Su questi libri pieni di cifre ed in apparenzaa ridissimi si fondarono e si fondano speculazioni ardite sulla costituzione dell' universo. In essi gli astronomi poterono, come attraverso ad altrettanti geroglifici, leggere i fatti più arcani della natura, la precessione degli equinozi, la nutazione dell'asse terrestre, il moto di traslazione del sole negli spazî interstellari, i movimenti proprî delle stelle impropriamente dette fisse.

Antonio Cagnoli.

Non è grande l'eredità che in fatto di cataloghi stellari il secolo nostro ebbe dagli anteriori. A parte i cataloghi antichi della scuola di Alessandria

e degli arabi, a parte le osservazioni stellari di Ticone, di Guglielmo IV landgravio dell' Assia Cassel, di Rothmann e di Evelio, può dirsi che l' êra dei cataloghi moderni cominci con Flamsteed e con Roemer, i primi ad usare regolarmente i cannocchiali nella determinazione dei luoghi delle stelle, e continui nella seconda metà del secolo XVIII con Bradley in Inghilterra, con La-Caille in Francia, con Mayer in Germania, uomini illustri ai quali [vogliono essere aggiunti i nomi di Le-Monier, di Maskelyne, di D' Agelet. Le osservazioni di Bradley sovratutte hanno il più alto valore, e nell'astronomia stellare costituiscono un punto fisso, un vero capo saldo. Con esse si paragonarono le osservazioni antiche di Ipparco, e si paragonano le più precise e moderne per determinare i moti proprî delle stelle; esse si estendono a 3222 fisse del cielo boreale, e ad esse Bessel, in sul principio del secolo nostro, appoggiò la sua opera classica: Fundamenta Astronomiae.

F. G. A. Argelander.

Ai cataloghi di Bradley, di Mayer e di La Caille il secolo XIX ne aggiunse tosto due importantissimi, quello di Lalande e quello del nostro Piazzi. Con essi e colle tavole stellari di Harding e col catalogo dell'Uranografia di Bode si apre il secolo nostro, per continuare coi cataloghi minori di Zach e di Cagnoli. Dopo essi fra il 1810 e il 1830 gli annali astronomici ricordano l' importante catalogo di Groombridge contenente 4243 stelle in gran parte circumpolari; le celebri zone di Bessel estendentisi a stelle comprese fra 15 gradi di declinazione australe e 45 di declinazione boreale, contenenti 75000 osservazioni, dalle quali Weisse trasse in seguito due ricchissimi ed importanti cataloghi; le carte di Berlino e il loro catalogo; il catalogo di Brisbane contenente 7885 stelle australi osservate alla specola di Paramatta; il catalogo di Schwerd; un catalogo contenente le sole ascensioni rette eseguito da G. Struve all' osservatorio di Dorpal.

L' anno 1830 va distinto negli annali dell' astronomia per il numero de' suoi cataloghi. Ad esso si riferiscono il catalogo delle 500 stelle di forte movimento proprio eseguito da Argelander all'osservatorio di Abo; il catalogo di Pond osservato alla specola di Greenwich e contenente 1112 stelle; le Positiones Mediae di G. Struve; il catalogo di Wrottesley con 1300 stelle; il primo catalogo di Cambridge estendentesi a 726 stelle; il catalogo di 606 stelle osservate da Johnson a S. Elena; il catalogo di Pearson contenente 520 stelle. Tengono dietro il catalogo di Taylor con 11015 stelle osservate a Madras, 1835; il catalogo di Rumker ad Amburgo con 12000 stelle, 1836; due cataloghi meno estesi, ma assai pregiati, dovuti l' uno ad Henderson, l'altro ad Airy e questo conosciuto sotto il nome di secondo catalogo di

Cambridge; le zone di Lamont iniziate nel 1833, proseguite durante lunghi anni, dalle quali furono in seguito tratti diversi cataloghi speciali; i due primi dei cataloghi del nostro Santini, riferiti l'uno e l'altro al 1840; il catalogo di Robinson contenente 5345 stelle, e conosciuto col nome di Armagh Catalogue, 1840; le zone boreali di Argelander, trasferitosi da Abo a Bonn, estendentisi a stelle comprese fra 45 e 80 gradi di declinazione, dalle qual

Fotografia stellare.

Oeltzen trasse un pregiato catalogo, 1842; i due cataloghi di Johnson contenenti l'uno 6317, l'altro 2386 stelle, e conosciuti sotto il nome di Radcliffe Catalogue, 1845; i cataloghi di Gillis e di Wrottesley, 1850; le zone australi di Argelander a Bonn col relativo catalogo calcolato da Oeltzen, 1850; i tre cataloghi così detti dei 6, dei 12, e dei 7 anni pubblicati da Airy allo osservatorio di Greenwich; i due cataloghi del Capo di B. S. pel 1840 e per il 1850; il Markree Catalogue di stelle dell'eclittica, 1851-1856; il catalogo delle stelle circumpolari di Carrington, 1855.

Si arriva così ad un lavoro che fa epoca, eseguito fra il 1852 e il 1862 a Bonn sotto la direzione di Argelander, uomo che ebbe il genio dell'astro-

nomia stellare, e che seppe trasmettere a giovani e operosi collaboratori l'entusiasmo suo. Argelander già colla sua Uranometria nova, apparsa nel 1843, aveva ridotte a sistema le nostre cognizioni sulle stelle del cielo visibili ad occhio nudo nelle latitudini europee. Col lavoro al quale qui si accenna, la Durchmüsterung o revisione del cielo boreale, disciplinò e diede un impulso fecondo che ancor oggi dura a tutta l'astronomia stellare del secolo nostro. Sono 324 mila le stelle abbracciate dalla Durchmüsterung sua, e sono tutte le stelle del cielo boreale e d'una stretta zona del cielo australe comprese fra la prima e la nona grandezza inclusiva. Di esse tutte la Durchmüsterung dà un valore numerico approssimato delle coordinate, e disegna il posto in carte stellari pregevolissime. Era disegno vagheggiato da Argelander di estendere verso sud la propria revisione del cielo, enumerando tutte le stelle comprese nella zona celeste fra i due e i ventitrè gradi di declinazione australe, e il disegno fu attuato da Schönfeld, suo discepolo e collaboratore, chiamato a succedergli nella direzione dell' osservatorio di Bonn. A compiere la propria revisione, Schönfeld, seguendo con gran cura nelle osservazioni il sistema seguito da Argelander, arrestando l' enumerazione alle stelle di nona grandezza o di poco inferiori, cercando di raggiungere nella stima delle grandezze stellari la medesima scala, impiegò otto anni, dal 1875 al 1883, ed enumerò, e registrò e disegnò su apposite carte 133659 stelle.

Le posizioni stellari date dalle revisioni di Argelander e di Schönfeld, le quali insieme unite abbracciano poco meno che un mezzo milione di stelle, sono per il metodo stesso seguito nelle osservazioni solo mediocremente precise. Alcuni collaboratori e discepoli di Argelander gettando nel 1865 a Lipsia le basi di una nuova società astronomica internazionale, Astronomische Gesellschaft, concepirono il disegno di riosservare al circolo meridiano tutte le stelle della Durchmüsterung argelanderiana in modo di riuscire a formare un catalogo stellare rigoroso e dotato di tutta la precisione possibile, e il disegno stesso estesero più tardi alle stelle della Durchmüsterung di Schönfeld. Il lavoro fu diviso fra osservatorî diversi: Albany S. U., Berlino, Bonn, Cambridge inglese, Cambridge americana, Christiania, Dorpat, Helsingfors, Kasan, Leiden, Lipsia, Lund; l' astronomo Auwers elaborò un catalogo detto fondamentale che servir dovesse appunto di base alle riduzioni di tutte le osservazioni meridiane progettate, e a dare l'omogeneità necessaria al loro insieme, e al catalogo da formarsi con esse. Questo catalogo detto dell'Astronomische Gesellschaft è oggi quasi per intero compiuto e pubblicato, e forma un' opera di inestimabil valore, che negli annali dell'astronomia sarà sempre ricordata con plauso. Nè essa valse ad assorbire tutta l'attività degli astronomi del tempo nostro per quel che riguarda i cataloghi di stelle, chè anzi dopo quelli già enumerati e dopo il 1855 uscirono all'estero: i due cataloghi di Yarnall; il secondo catalogo di Armagh pubblicato da Dreyer con 3300 stelle; il grande catalogo del Capo di B. S. elaborato da Stone per il 1880 con 12441 stelle; il catalogo di Glasgow pubblicato da Grant con 6415 stelle; il catalogo di Kam con più che 5000 stelle tratte dai primi 66 volumi delle Astronomische Nachrichten; un recente catalogo del Capo di B. S. dovuto a Gill con 1713 stelle; il nuovo catalogo Radcliffe pubblicato da Stone con 6424 stelle; i cata-

loghi importanti degli osservatorî di Greenwich, di Parigi, di Pulkova; uscirono in Italia: i tre ultimi cataloghi di Santini, quello riferito al 1870 compreso al quale collaborarono V. Trettenero e G. Lorenzoni; le osservazioni meridiane eseguite da G. Schiaparelli e da G. Celoria; le posizioni delle stelle

Nebulosa di Orione.

osservate al meridiano di Palermo da P. Tacchini; i due cataloghi del Campidoglio dovuti a L. Respighi; il catalogo di 1291 australi osservate alla specola del Collegio Romano da E. Millosevich e da V. Cerulli; il catalogo delle ascensioni rette di 2438 stelle boreali e di 45 stelle australi osservate al circolo meridiano del Campidoglio da A. Di Legge e da F. Giacomelli; il catalogo di 2491 stelle australi dovuto a E. Millosevich e D. Peyra.

L' impulso dato da Argelander all' astronomia siderale produsse, come appena abbiam visto dei grandi risultati, e si estese all' Europa non meno che alle lontane Americhe. Qui anzi Argelander trovò in Beniamino Gould un imitatore fortunato ed un emulo. Gould, astronomo degli Stati Uniti d'America, chiamato nel 1870 dalla repubblica Argentina a dirigere il nuovo osservatorio di Córdoba, cominciò dall'elaborare e pubblicare l'Uranometria Argentina che è una rappresentazione di tutte le stelle visibili ad occhio nudo nell'ampia volta del cielo, che comincia al polo sud, oltrepassa l'equatore e finisce al parallelo boreale lontano 10 gradi da esso, e che è un lavoro analogo a quello compiuto appunto da Argelander, colla sua Uranometria nova, per il cielo boreale. Appoggiato a collaboratorî valenti e operosi, Miles Rock, J. M. Thome, W. M. Davis, E. Bachmann, F. Latzinov, F. H. Bigelow, W. G. Davis, C. W. Stevens, F. E. Wiggin, Gould concepì ad un tempo un vasto disegno di osservazioni meridiane, il più vasto forse che osservatorio siasi mai proposto. Decise di osservare per zone, seguendo un metodo essenzialmente analogo a quello di Bessel e di Argelander, le stelle contenute nella zona australe che va da 23 a 80 gradi di declinazione, tralasciando solo le stelle della callotta polare australe ampia 10 gradi già osservata da Gillis; decise contemporaneamente di osservare ogni notte, oltre alle zone col metodo spiccio proprio ad esse, alcune stelle fondamentali e molte delle stelle ad esse zone appartenenti col metodo che si suol seguire nelle osservazioni meridiane rigorose. Ne nacquero il catalogo delle zone australi che riposa su 105240 osservazioni eseguite fra il 1872 e il 1880 e che contiene le posizioni di 73160 stelle; il catalogo generale argentino che riposa su osservazioni meridiane rigorose eseguite negli stessi anni 1872-1880 e che contiene 32448 stelle, tutte le stelle può dirsi del cielo australe di grandezza superiore alla ottava e mezza delle quali la declinazione sta fra 23 e 80 gradi. Ridottosi Gould, dopo opere di tanta importanza, a vita privata, il collaboratore e successor suo J. M. Thome si propose di continuare la revisione del cielo di Argelander e di Schönfeld, seguendo analoghi criterî ed uno stesso metodo di osservazione, e partendo dal limite australe adottato da Schönfeld. Fra il 1885 ed il 1891 nella zona limitata dai due paralleli che corrono a 22 e a 42 gradi a sud dell'equatore enumerò egli 340215 stelle aventi grandezze dalla prima alla decima inclusa, e delle medesime diede posizioni approssimate in due cataloghi speciali. Questo lavoro di Thome, le pubblicazioni di importanza capitale di Gould, unite ad altri cataloghi di stelle australi apparsi, quali, oltre quelli già nominati, il catalogo di Cincinnati, il catalogo di Melbourne, il catalogo di Moesta, vennero in brevi anni a colmare la mancanza di posizioni sicure delle stelle del cielo australe lamentata fino al 1870 da tutti gli astronomi.

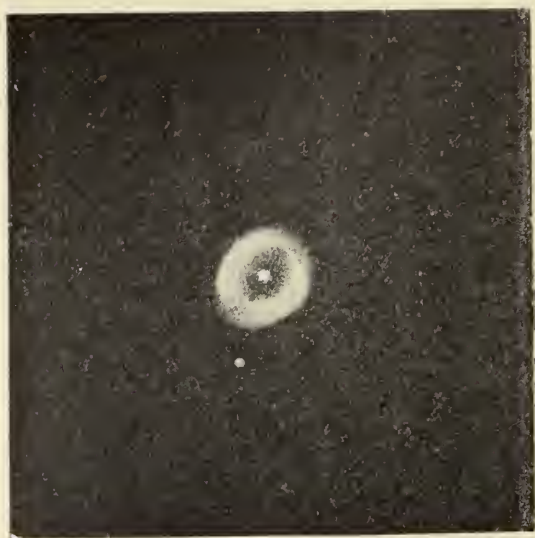
Dall'uno all' altro polo si estendono oggi i nostri cataloghi stellari che contiamo a decine e decine, mentre nel 1800 a tutti contarli eran di troppo le dita delle mani. Tanti e così frequenti cataloghi agevolano oggi le osservazioni degli astri erranti, e la formazione di carte celesti speciali delle quali pur molte sono pubblicate; agevolano lo studio delle distanze e dei movimenti proprî delle stelle, dal quale gli astronomi avvenire sapranno certo trarre importanti nozioni intorno allo spazio universo e ai sistemi stellari

suoi; agevolano lo studio della distribuzione generale delle stelle nello spazio, problema attraentissimo, al quale si riferiscono già oggi non poche pubblicazioni, e fra le italiane gli scandagli del cielo fatti dall'astronomo G. Celoria e le speculazioni geniali pubblicate dallo Schiaparelli.

La Durchmüsterung di Argelander, i cataloghi ai quali essa diede luogo, la Durchmüsterung di Schönfeld, le osservazioni di Gould e dei collaboratori suoi a Córdoba costituiscono nel loro insieme la più grandiosa impresa astronomica a cui nel secolo XIX siasi dato mano portandola insieme a compimento. Un'altra impresa altrettanto e forse più grandiosa fu iniziata nel secolo nostro, ma di essa solo gli astronomi del secolo venturo vedranno la fine. Nel 1887 si radunò a Parigi per iniziativa di Mouchez un congresso internazionale di astronomi, il quale decise la formazione di una grande carta astro-fotografica, e di un catalogo di stelle appoggiato esclusivamente a osservazioni fotografiche. Il congresso escluse che per la carta del cielo avessero a fotografarsi tutte le stelle visibili, e decise che il lavoro arrestar si dovesse alle stelle di decima quarta grandezza, delle quali il numero pur sale a 20 milioni circa. E poichè un catalogo di 20 milioni di stelle sarebbe stata opera troppo vasta e punto pratica, il congresso limitò il catalogo alle stelle di undecima grandezza delle quali in cielo ve n'è press'a poco un milione e mezzo. E poichè ancora le pose brevi dànno ben nette e precise le immagini delle stelle brillanti, mentre le pose lunghe danno bensì un maggior numero di stelle ma immagini non ben definite delle stelle brillanti, il congresso deliberò che le operazioni fotografiche destinate alla formazione delcatalogo andassero disgiunte da quelle destinate alla formazione delle carte celesti, le prime richiedendo pose di breve durata, le seconde pose di durata assai maggiore. La direzione dei lavori fu affidata ad un comitato esecutivo permanente internazionale; l'esecuzione ad un certo numero di osservatorî, opportunamente scelti sull'uno e sull'altro emisfero della terra, fra essi gli osservatorî di Catania e del Vaticano. Non v'ha dubbio che questi lavori, i quali sono affidati ad una organizzazione

Nebulosa della Vulpecola.

sapiente, i quali dispongono di mezzi molti e di squisita perfezione, i quali per i calcoli di riduzione possono utilizzare i lavori classici di Auwers e di Newcomb sulle stelle fondamentali, non che gli accordi presi a proposito delle costanti astronomiche tutte dalla conferenza internazionale detta appunto delle stelle fondamentali radunatasi a Parigi nel maggio del 1896, non v'ha dubbio ripeto che questi lavori riusciranno a risultati di grande precisione, ma non v'ha dubbio ad un tempo che anche rispetto ad essi i lavori compiuti nel secolo nostro non perderanno punto di importanza.

Il secolo XIX creatore della fisica solare andrà celebre ancora per la fisica stellare, altra delle creazioni geniali dovute alla spettroscopia, e ai progressi suoi. Negli spettri luminosi l'esperienza ha dimostrato che le righe lucide e colorate non meno che le righe oscure assumono in determinate condizioni di temperatura e di pressione apparenze speciali. Qualche volta le righe lucide e colorate dello spettro dei metalli, invece che sottili, appaiono sensibilmente larghe, ed in tal càso non hanno una tinta uniforme in tutta la loro larghezza, ma intensamente colorate sopra uno dei lati, van via via sfumando e prendendo una tinta sempre meno intensa, fino ad apparire sul lato opposto debolissimamente colorate; lo spettro si dice in tal caso solcato da scanalature lucide. Altrettanto succede delle righe oscure: anche queste appaiono talora non più sottili, ma sensibilmente larghe, non più uniformemente oscure in tutta la loro ampiezza, ma oscure su un fianco, e sfumate sul fianco opposto, e prendono allora il nome di scanalature oscure o d'assorbimento, nome suggerito dal loro aspetto stesso.

Nebulosa della Lira.

Or bene le stelle, dietro gli studî fatti da molti astronomi a cominciare dal nostro Donati, hanno spettri che, pochissime eccezioni fatte, si possono secondo Secchi e secondo l'astronomo Vogel di Potsdam ridurre a quattro tipi principali.

Sono spettri d' una stessa famiglia, e le differenze loro dipendono dal numero e dalla disposizione delle righe oscure e delle lucide, delle scanalature di assorbimento e delle luminose. Pochi spettri stellari presentano righe semplici, lucide, isolate, ed essi, volendo, potrebbero radunarsi in un quinto tipo a righe lucide.

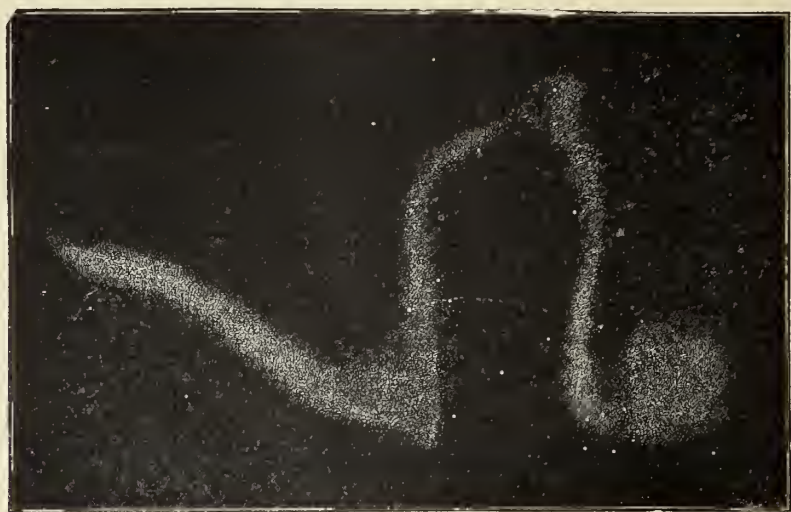
L' analogia degli spettri stellari fra loro e con quello del sole dimostra anzitutto che quanto a costituzione fisica le stelle non differiscono essenzialmente dal sole, e che esse sono altrettanti soli. Esistono differenze fra stelle e stelle, e le medesime sono accusate dallo spettro loro, tanto che noi abbiamo

ora cataloghi stellari di nuovo genere, cataloghi cioè che invece della posizione delle stelle nello spazio dànno per ogni stella il tipo dello spettro rispettivo, cataloghi dei quali il numero crebbe specialmente dacchè l'astronomo americano Pickering, perfezionando i metodi di Draper e di Huggins, trovò modo di ottenere ancora per gli spettri di stelle di settima e di ottava grandezza fotografie distintissime, cataloghi di grande importanza perchè dai medesimi si potrà un giorno risalire alle costituzioni fisiche e chimiche stellari. Già le cognizioni nostre qualche cosa in proposito ci insegnano, che val la pena di essere riferito.

Fu osservato che i corpi semplici ad altissime temperature dànno uno spettro a righe strette, distinte, sottili, ad altissime temperature e inoltre sottoposti a forti pressioni danno nello spettro righe meno bene limitate e definite da ambedue le parti. Fu osservato ancora che i composti chimici danno spettri di tutt'altra natura, che gli ossidi, i cloruri, le differenti specie di idrogeno carbonato mostrano allo spettroscopio righe larghe oscure, non uniformemente oscure in tutta la loro larghezza, ma sfumate, fosche cioè da uno dei lati e più chiare dall' altro. Orbene gli spettri delle stelle offrono appunto questi diversi caratteri, ed è spontaneo il pensare che la diversa temperatura e la conseguente diversa composizione chimica sieno le cause che producono i diversi tipi di spettri stellari. Esistono probabilmente stelle a temperatura elevatissima; i gas metallici esistenti nelle loro atmosfere esercitano sulla luce delle fotosfere loro un assorbimento minimo, e le righe oscure sono per conseguenza nei loro spettri o tenuissime, o affatto invisibili, o rovesciate qualche volta in lucide. Esistono stelle a temperatura più bassa ma ancora molto elevata; nelle loro atmosfere, così come in quella del sole, possono esistere vapori metallici capaci di assorbire la luce della fotosfera, e la di cui facoltà assorbente è resa manifesta appunto dalle numerose righe oscure dello spettro. Esistono stelle a temperatura molto bassa, e bassa al punto che composti chimici possono generarsi e mantenersi nelle loro atmosfere, producendo un assorbimento forte; sono le stelle con spettro a scanalature oscure, passanti per sfumature da uno ad un altro grado di oscurità.

Nebulosa Ω nella costellazione dello Scudo.

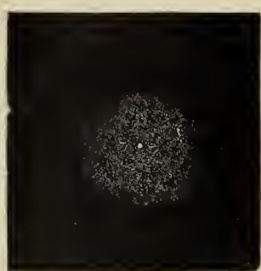
Da questi fatti e principî trassero alcuni la conseguenza che le stelle passano per diverse fasi di svolgimento, contrassegnate ciascuna da un diverso grado di temperatura, e che esse sono astri i quali vanno successivamente

perdendo di calore, predestinati tutti a spegnersi col tempo. È questo un ordine di idee, che ha per ora piccolo fondamento. Se esso fosse vero, gli spettri delle stelle dovrebbero incessantemente mutare e trasformarsi gli uni negli altri; dovrebbero fra essi esistere spettri di transizione, prodotti da stelle che stanno fra quelle di altissima e quelle di alta temperatura, fra queste e quelle di temperatura molto bassa. Nulla di tutto ciò si osserva, nè che il sole e le stelle debbano necessariamente spegnersi è principio finora abbastanza dimostrato. Alcune ricerche di Lockyer tendono anzi a far pensare che tutti i corpi dell'universo sono o sono stati sciami di meteoriti; che le differenze presenti fra loro dipendono da differenze di temperatura, o da differenze di distanze reciproche dei meteoriti costituenti; che fra le stelle alcune vanno crescendo di temperatura, altre diminuendo. Si tratta però di

Nebulosa ad omega.

indagini ancora incomplete, di concetti che vanno svolgendosi, che da nuovi studî e da prolungate esperienze potrebbero essere profondamente modificati e ai quali qui accenniamo più che altro a scopo suggestivo.

Fra le stelle del cielo meritano qui una speciale e rapida menzione le stelle multiple e le variabili; rapida perchè omai il tempo stringe e più ancora l'inesorabile tirannia dello spazio.

Nella storia dell'astronomia le stelle doppie e multiple segnano un progresso splendido; per esse fu dimostrato che la legge dell' attrazione delle masse, così come Newton l' ha intesa applicandola al nostro sistema solare, regge ancora i corpi disseminati nelle profondità dello spazio universo, e per esse la nostra mente potè con sicuro fondamento pensare a più stelle le quali si aggirano intorno a un centro comune così come in uno spazio più ristretto fanno nel nostro sistema i pianeti e il sole. L' èra delle doppie si apre con Guglielmo Herschel e coi cataloghi da esso pubblicati negli anni 1782, 1785, 1804; continua nel secolo nostro con Guglielmo Struve, con Gio-

vanni Herschel e con Ottone Struve. Si può dire che i lavori di questi sommi rappresentano tutto ciò che intorno alle multiple fu fatto nella prima metà del secolo. Dopo il 1850, cresciuto il numero dei cannocchiali potenti, crebbe pure il numero degli osservatori di multiple; ogni anno vide intorno a queste qualche pubblicazione speciale, ed in Italia ebbimo le osservazioni del padre Angelo Secchi, del padre Stanislao Ferrari, dell' astronomo Arminio Nobile, alcuni calcoli di orbite dell' astronomo G. Celoria, una pubblicazione dello

Le nebulose di Perseo e dell'Auriga.

Schiaparelli intorno alle proprie osservazioni, e nel 1884, per opera dello stesso Schiaparelli e di Ottone Struve, la pubblicazione delle Misure micrometriche di stelle doppie e multiple fatte negli anni 1852-1878 dal barone E. Dembowski, opera di importanza capitale. Sull'arte di calcolare coi principî della meccanica gravitazionale le orbite delle multiple scrissero Savary, Encke, Giovanni Herschel e fra gli italiani A. De-Gasparis; e negli ultimi anni allo

Nebulose ellittiche.

studio dei movimenti orbitali delle stelle si applicò con genialissimo pensiero la spettroscopia.

Le stelle scintillano: in certe condizioni di atmosfera o se poco elevate sull'orizzonte la loro luce muta con rapidissime vicende, passando irregolarmente per certe mutazioni apparenti di intensità e di colorazione. Le stelle hanno colori diversi, e nulla v'ha di più bello che i contrasti di colore offerti dalle stelle doppie. Le stelle hanno diverso splendore, e fin dai tempi più antichi le si divisero in classi, sei per l'occhio nudo, le quali furono chiamate grandezze, per ciò che le stelle più splendenti, mandando maggior massa di luce all'occhio, appaiono più grandi. Nelle ricerche intorno alla scintillazione, ai colori, alle grandezze delle stelle gli astronomi procedettero, fino a

pochi anni or sono, in modo quasi empirico. Solo la spettroscopia e la fotometria riuscirono a portare nello studio loro precisione e sicurezza di indagini e di risultati, accumulando in pochi anni osservazioni metodiche numerose, che costituiscono uno dei più importanti patrimonî scientifici, che l'astronomia contemporanea lega all' avvenire. Fu lo spettroscopio che permise al nostro Respighi ad esempio di analizzare i varî fattori del fenomeno della scintillazione e di ricercarne il vero andamento. Furono la spettroscopia e la spettrografia che posero in evidenza l'importanza dello studio delle stelle colorate, e che dimostrarono una relazione non dubbia fra la diversa natura dei tipi spettrali e il diverso colore delle stelle. Furono i fotometri che permisero lo studio sistematico delle grandezze stellari, studio fecondo nel quale l'astro-

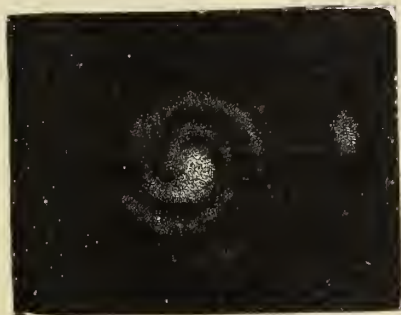
Nebulosa ellittica nel Leone.

nomo americano Pickering primeggia con un' opera vasta e di capitale importanza eseguita all'osservatorio del collegio di Harvard da lui diretto.

Non sempre lo splendore di una stella è costante; vi sono anzi stelle numerose in cielo che passano successivamente per diversi gradi di intensità luminosa, stelle variabili delle quali lo studio fu messo in onore da Argelander, maestro in tutte le questioni di astronomia siderale, e le quali nel secolo nostro diedero luogo a osservazioni e a speculazioni memorabili. Le variabili presentano grande varietà di fenomeni, e vanno dalle stelle temporarie o nuove quali nel secolo nostro furono le improvvisamente apparse nel 1848, nel 1866, nel 1876, nel 1885, a quelle che mutano regolarmente lo splendore loro, a quelle che lo mutano saltuariamente. I libri di astronomia le dividono in cinque classi principali, e passano in rassegna le teorie diverse immaginate a darne la spiegazione, ma sta invece che non è una sola la causa che le produce, e che ad ogni classe di variabili molto probabilmente corrispondono una o più cause speciali di perturbazione dello splen-

dore. Così le stelle temporarie e nuove possono provenire dall' eruzione e incendio di potenti masse di idrogeno che ne portino rapidamente la temperatura ad un altissimo grado, lo splendore a grande intensità, temperatura e splendore cui esse raffreddandosi perdono poi a poco a poco. Così le stelle le quali mantengono durante la più gran parte del tempo invariato il loro splendore, ma ad intervalli regolari perdono in poche ore quasi intieramente la loro luce, e con uguale rapidità la riacquistano, possono spiegarsi per mezzo

Il Gambero, nebulosa nel Toro.

I Levrieri, secondo il Secchi.

I Levrieri, secondo il Vogel.

di un satellite loro opaco, il quale, portato dal proprio movimento di rivoluzione intorno ad esse, passa a periodi determinati fra esse e la terra.

Qua e là nel firmamento si incontrano masse di materia cosmica, di color pallido, bianchiccio, simile a quello della via lattea. Come questa anche esse quasi nuvolette, nebule, nebulose, rompono l'oscurità del cielo; si presentano sotto tutte le forme, dalla circolare e dall'ellittica alla più irregolare, sotto tutte le grandezze, da alcuni gradi di diametro fino a pochi secondi d'arco, ed hanno questo di caratteristico, che sotto nessun cannocchiale, per quanto forte esso sia, si risolvono in stelle. Poche e poco precise nozioni ci tramandarono intorno alle nebulose gli astronomi dei tempi passati. Le posizioni loro date da Guglielmo Herschel e più tardi da Giovanni Herschel sono molto incerte, meno imprecise ma pur sempre incerte sono le posizioni date da Laugier e da D' Arrest; solo dopo il 1860 i luoghi delle nebule per

opera di Auwers, di Schmidt, di Vogel, di Schönfeld, di Schultz furono determinati colla voluta esattezza. La costituzione delle nebulose rimase sempre un enigma, e fu essa pure dopo il 1860 rivelata dallo spettroscopio. Il loro spettro disegnato nella tavola nostra degli spettri è quello dei gas luminosi, ed è formato da 3 o da 4 righe lucide, dimostranti che l' idrogeno è uno dei componenti loro principali, e che le nebulose sono in uno stato fisico totalmente diverso da quello delle stelle e del sole. Le stelle sono in istato di incandescenza, emettono raggi di ogni specie, e solo una parte di questi è assorbita dalle loro atmosfere. Nelle nebulose la materia è in uno stato di mera combinazione chimica, così come è nelle nostre fiamme, ed emette per conseguenza raggi di una o pochissime qualità. Vi sono regioni del cielo specialmente ricche di nebulose, altre ne maneano interamente, ma il numero delle nebulose esistenti è abbastanza grande. Il ben noto catalogo di Dreyer contiene tutte le nebulose conosciute verso la fine del 1887 e ne enumera 7840; sommano a 1529 le nuove nebulose trovate fra il 1887 e il principio del 1895, e sale così a 9369 il numero totale delle nebulose poste ora a catalogo dallo stesso Dreyer. Ogni anno apporta nuove cognizioni intorno a questi astri attraentissimi specialmente dacchè allo studio loro fu per opera degli Henry, di Gothard, di Roberts, di Janssen applicata con successo crescente la fotografia, la quale riuscì a rintracciarne molte di nuove, e la quale dà delle maggiori già note immagini di grande perfezione ed evidenza. Molto si è osservato e molto s'è pure speculato in questi ultimi anni intorno alle nebulose, ma un' ipotesi che tutte le spieghi, appaiano esse sferiche o spiriformi o irregolari, non si ha. L' ipotesi preferita è la recente meteorica di Lockyer. Secondo essa le nebulose sono sciami di meteoriti; i meteoriti non sono per sè medesimi luminosi, e lo diventano solo in grazia di urti e di collisioni reciproche; i meteoriti vanno per l' universo a sciami, e la luce, che irradia da essi direttamente o dall'ardere dei gas da essi prodotti, può provenire solo da quelle parti dello sciame meteorico in cui avvengono collisioni; basta ammettere uno sciame in cui i meteoriti si rivolgano in orbite chiuse attorno ad un centro di gravità, e tutte le forme note di nebulose vengono, secondo Lockyer, ad essere spiegate.

Nebulosa planetaria del Sagittario.

Molto lavorarono con giusto metodo e con fine spirito critico gli astronomi del secolo XIX. L' astronomia di posizione che ricevettero in retaggio dai secoli anteriori portarono essi a precisione maggiore, e l'arricchirono di strumenti e di metodi di squisita perfezione. L' astronomia gravitazionale, ereditata essa pure dai tempi andati, coltivarono con grande intelletto; risolvendo molte delle difficoltà che ancor presentava, mettendo a nudo gli arcani che tuttora avvolge. Una nuova astronomia, l'astrofisica, seppero creare con strumenti dapprima mai usati, lo spettroscopio e la lastra sensibile foto-

grafica, con procedimenti originali di osservazione d'una tecnica squisitissima. Ampliarono il sistema planetario, e ne posero meglio in evidenza il ricco e complesso e mirabile meccanismo. Si inoltrarono con grande ardimento nel mondo delle stelle, e in esso scoprirono la regione ignota delle stelle multiple, meglio impararono a conoscere le stelle variabili e le nebulose. Nuove idee, nuovi veri affermarono nei libri loro, e ciò senza suscitare mai, come altri scienziati fanno, speranze esagerate, le quali, non realizzate poi, diventan ragione di stanchezza e di disillusioni fra gli uomini. Le nuove idee, i nuovi veri trassero dai libri loro tecnici e sotto forma diversa espressero in libri popolari, primi fra gli scienziati a persuadersi che promuovere la scienza non

Nebulose spirali.

basta e che bisogna promuovere inoltre la coltura, primi a intuire che la scienza deve essere la principale fattrice di una coltura nuova, e che essa per la via della divulgazione soltanto può raggiungere il suo ultimo fine. Molto fecero non v' ha dubbio gli astronomi del secolo nostro, eppure moltissimo resta a fare.

Vi sono nella rotazione degli astri deviazioni che l'astronomo non può sempre spiegare, e una di queste deviazioni v' è nella rotazione della terra. La luna mostra una certa irregolarità di movimento, e dei mutamenti suoi, lievi a dir vero ma certi, la causa ci è ignota. L'orbita di Mercurio va soggetta a una perturbazione inesplicata, tanto che cominciasi a dubitare che un po' diversa dalla generalmente creduta possa essere la legge di gravitazione. Non è improbalile che la forza la quale produce la coda delle comete abbia qualche influenza sul loro moto orbitale, e la soluzione di questo problema presuppone cognizioni intorno alla costituzione fisica delle comete che ancora non possediamo. I pianeti che meglio conosciamo sono, per la vici-

nanza loro, Marte e Venere, pure anche per essi quale veramente sia lo spettacolo che presentano alla superficie loro, se sovr'essi esista vegetazione, vita animale, aria per noi respirabile, non possiamo dire con certezza. Sappiamo che la luna non ha atmosfera comparabile alla terrestre nè acqua, e che non può essere la dimora di una vita analoga a quella che ci circonda sulla terra, ma a analoga questione che riguardasse i pianeti tutti e i satelliti loro non potremmo dare una risposta positiva.

Il sole è tutto un arcano. Che cosa veramente esso sia non sappiamo. La natura e la causa delle sue macchie ci sono ignote. La sua corona è un mistero non meno che la luce zodiacale. Ancora ignota ci è la sorgente dal calore irradiato dal sole e dalle stelle; ancor non sappiamo che cosa avvenga del calore e della luce che sole e stelle irradiano senza posa nello spazio. L'astronomia siderale è un libro può dirsi appena aperto. Del grande viaggio del sole e del sistema plunetario attraverso allo spazio sappiamo solo che si compie: come, con quale velocità precisamente si compia, quale sia il suo passato, quale ne sia l'avvenire non sappiamo. Anche le stelle si muovono; è probabile che ciascuna di esse compia un suo proprio viaggio nella vastità degli spazî interstellari, ma non lo possiamo dire positivamente. Ignoriamo le dimensioni degli spazî interstellari e del mondo delle stelle che oggi possiamo appena abbozzare; non sappiamo se in esso esistano sistemi stellari diversi, se la legge di gravitazione che regge il sistema planetarario in esso regni del pari sola e assoluta.

A molte delle questioni poste si può essere certi che anche coi soli mezzi odierni di indagine l'astronomia saprà nei secoli venturi dare una risoluzione, ma che tutte esse riescirà a risolvere sarebbe oggi altrettanto impossibile affermare che negare. La spettroscopia spinse nel secolo nostro gli astronomi in regioni che pochi anni addietro si sarebbero dette inaccessibili. Chi può dire che nuovi e pur non supposti mezzi di indagine non saprà l'astronomia aprirsi nei secoli venturi? Il secolo nostro vide la luce prendere il posto del bulino dell'incisore, vide i nuovi raggi Roentgen, vide le matematiche pure prendere indirizzi affatto nuovi. Chi può dire che le matematiche, ausilio validissimo in tutte le ricerche di filosofia naturale, non riusciranno a preparare per gli astronomi armi più efficaci delle presenti? Che nuovie forme di radiazione e di energia raggiante non verranno scoperte? Che nuovi strumenti, oggi neppur pensabili, l'astronomia non saprà procacciarsi? Non dimentichiamo che la scienza cammina senza arrestarsi mai, e che essa di secolo in secolo sa aprirsi orizzonti sempre nuovi. Così fece per il passato così farà per l'avvenire. Sarebbe temerario affermare oggi che all'infuori delle scienze positive del tempo nostro altre non ne esistano, ma quale genio umano potrebbe oggi divinare pur una di queste nuove scienze avvenire?

FINE DELL' ASTRONOMIA.

GLI ASTRONOMI ITALIANI DEL SECOLO XIX

Abetti Ant. n. 1846 Gorizia, Illiria — astr. a Berlino, a Padova, ora dir. dell'osserv. di Arcetri, Firenze.

Amici Giov. Batt. n. 1786 Modena, m. 1863 Firenze — astr. e dirett. dell'osserv. del Museo, Firenze — ott. illustre.

Angelitti Filippo n. 1856 Aielli, Aquila — astr. all'osserv. di Capodimonte Napoli 1880-97, dal 1897 dirett. dell'osserv. di Palermo.

Antonelli Giov. dell' ord. delle Scuole Pie, n. 1818 Candeglia, Pistoia, m. 1872, Firenze — astr. all'oss. Ximeniano.

Antoniazzi Ant. n. 1872 Collalto di Refrontolo, Treviso — dal 1894 astr. all'os erv. di Padova.

* * *

Balbi Vittorio n. 1862 Torino — dal 1896 astr. all'oss. di Torino.

Bellani Angelo canonico n. 1776 Monza, m. 1852 Milano — fis. e astr.: scrisse sulle comete e sulle stelle cadenti.

Bertelli Francesco n. 1794 Panzano, Bologna, m. 1844 Bologna - prof. all'univ. e astr all'osserv. Bologna.

Bertirossi-Busata Franc. n. 1775 Marostica, m. 1825, Padova — a cominc. dal 1807 astr. all'osserv di Padova.

Bianchi Giuseppe n. 1791, m. 1866 Modena — astr. a Padova, a Milano: fondò l'oss. di Modena — nel 1859 passò a dirig. l'oss. priv. Montecuccoli.

Brambilla Enrico n. 1792 Oreno, Vimercate, m. 1828 Milano — astr. per 13 anni a Brera, Milano.

Brioschi Carlo n. 1785 Milano, m. 1833 Napoli — primo astr. e dir. dell'oss. di Capodimonte, Napoli — sono stimatissimi i suoi Commentarj astronomici.

Brioschi Faustino n. 1828 Napoli — astron. meteor. all'osser. di Capodimonte 1850-97.

Brupacner Giuseppe n. 1785, m. 1856 Milano — astr. a Brera 1805-1811 — geod. all'Ist. Geog. di Milano 1811-1838.

Buzzetti Curzio astr. a Brera, Milano, dal 1839 al 1863 — prof. di fis. all'univ. di Ferrara 1864-84 — n. 1815 a Milano — m. cieco 1887 Bologna.

* * *

Cacciatore Gaetano n. 1814, m. 1889 Palermo — astr. all'oss. di Palermo — dirett. 1841-48; 1860-89.

Cacciatore Niccolò n. 1780 Casteltermini, Girgenti, m. 1841 Palermo — astron. all' oss. di Palermo (1800-1826), dopo il 1826 dirett.

Cagnoli Antonio n. 1743 Zante, m. 1816 Verona — addetto all'amb. veneta a arigi — astron. priv. a Parigi, a Verona, a Milano — prof. di astr. a Modena.

Calandrelli Giuseppe canonico n. 1749 Zagarola S. pont., m. 1827 Roma — fondatore e dirett. dell'osserv. del Collegio Romano (Roma).

Calandrelli Ignazio abate n. 1792, m. 1866 Roma — astr. a Bologna 1846-48 — costrutt. e dirett. dell'osserv. del Campidoglio (Roma) 1848-66).

Capelli Giovanni abate n. 1801 nel novarese, m. 1877 Milano — astron. a Brera (Milano) a datare dal 1839.

Capelli Pietro n. ?, m. 1835 Torino — solo assist. ammesso dal Plana all'oss. di Torino.

Capocci Ernesto n. 1798 Picinisco, Napoli, m. 1864 Napoli — astr. (1817) a Capodimonte (Napoli) — dirett. dal 1833 al 1848, dal 1860 al 1864.

Carlini Francesco n. 1783 Milano, m. 1862 Crodo (bagni) — astron. a Brera (Milano) 1805-32; dirett. 1832-62 — scienz. di grande riputazione.

Casella Giuseppe allievo di Toaldo a Padova — direttore 1798-1808 dell'osserv. di S. Gaudioso, Napoli.

Cavalleri Giov. Maria barnabita n. 1807 S. Michele Cremasco, m. 1874 Monza — prof. a Lodi e a Monza — ottico riputato.

Caturegli Pietro n. 1772, m. 1835 Bologna — astr. all'osserv. dell'univ. di Bologna, dirett. 1815-33.

Cecchi, padre, **Filippo** n. 1822 presso Pescia, m. 1887 Firenze — dirett. dell'osserv. Ximeniano a datare dal 1872.

Celoria Giovanni n. 1842 Casale Monf. — astr. a Berlino, a Bonn, ora a Brera (Milano), e prof. di geod. al Politecnico.

Cerulli Vincenzo n. ? — astr. a Berlino e a Roma — ora astron. priv. al proprio osserv. di Collurania, Teramo.

Cesaris, padre, **Angelo** n. 1749 Casal-Pusterlengo, m. 1832 Milano — astron. all'oss. di Brera, Milano, a datare dal 1773 — astr. e geod. di molta riputazione.

Ceschi Gaetano n. ?, m. 1845 Bologna — prof. all'univ. astr. all'osserv. di Bologna.

Charrier Angelo n. 1846 Savoia, m. 1888 Torino — astr. all'osserv. di Torino.

Chiminello Vincenzo n. 1741, m. 1815 Marostica, Vicenza — astr. all' osserv. di Padova, dirett. dal 1798 al 1813 — osservat. diligente, meteorologo rinomato.

Ciccolini Lodovico abate n. 1767 Macerata — prof. di astr. e dirett. dell' osserv. dell'univ. di Bologna dal 1803 al 1815, m. 1854 Bologna.

Cipolletti Domenico n. 1840 Roma, m. 1874 Firenze — astron. prima all'osserv. del Museo poi a quello di Arcetri, Firenze.

Ciscato Giuseppe n. 1859 Malo, Vicenza — astr. all'osserv. dell'Univ. di Padova dal 1886.

Colla Antonio — n. 1806 m. 1857 Parma — fisico e astronomo.

Contarino Francesco n. 1855 Reggio Calabria — astron. all'osserv. di Capodimonte, Napoli dal 1879.

Conti Andrea abate n. 1777 Riofreddo, m. 1840 — Roma — astron. all'osserv. del Coll. Rom. 1804-24.

Conti Carlo n. 1802 Legnago, m. 1849 Padova — astron. all'osserv. di Padova dal 1827 al 1842.

De Gasparis Annibale n. 1819 Bugnara Abruzzi, m. 1892 Napoli — astron. 1840-64 dirett. 1864-89 dell' osserv. di Capodimonte a Napoli — scoperse nove picc. pian. — scrisse import. mem. astronomiche.

Della Rovero N. padre ges. astron. con De Vico all'osserv. del Collegio Romano, Roma 1838-48.

Del Nacca Cosimo fiorentino — astr. con De Vecchi in sul principio del secolo all' osserv. del Museo, Firenze.

Dembowski barone **Ercole** n. 1812 Milano, m. 1881 Albizzate — astr. priv. agli osserv. proprii di S. Giorgio a Cremano, Napoli, di Cassano Magnago, di Albizzate — osservatore rinomato di stelle doppie.

Denza padre **Francesco** n. 1834 Napoli, m. 1894 Roma — meteor. e astron. — direttore prima dell'osserv. di Moncalieri, poi della Specola Vaticana (1888-92).

Del Re Leopoldo n. 1805 Cantalupo Sannio, m. 1872 Napoli — astr. dal 1821 al 1849 all'osserv. di Capodimonte, Napoli — direttore dal 1849 al 1860.

Del Ricco padre **Gaetano** n. 1746, m. 1818, Firenze — direttore e secondo fondatore dell' osserv. Ximeniano, Firenze.

De Vecchi Domenico m. 1829 Firenze — primo direttore astronomo, 1807, dell' osserv. del Museo, Firenze.

De Vico Francesco padre ges. n. 1805 Macerata, m. 1848 Londra — prima astron. poi dirett. dell'osserv. del Collegio Romano, Roma.

Di Legge Alfonso astron. con Respighi all'osserv. del Campidoglio, ora prof. all'univ. e dirett. dell'osser. stesso, Roma.

Donati Giov. Batt. n. 1826 Pisa, m. 1873 Firenze — astron. all'osserv. del Museo Firenze, dal 1852 al 1864 — dal 1864 dirett. del medesimo — fondatore dell'osserv. di Arcetri — astr. rinomato e popolare.

Dorna Alessandro n. 1825 Asti, m. 1886 a S. Pietro presso la Sacra di S. Michele — prof. a Torino di matem. e di astr. — nel 1865 chiamato a dirigere l'osserv. di Torino.

Dumouchel Stefano padre ges. n. 1773 Montfort-Lamaury, m. 1840 Roma — chiamato nel 1824 a capo dell'oss. del Collegio Romano, Roma, lo diresse fino al 1838.

* * *

Fergola Emmanuele n. 1830 Napoli — dal 1849 astron all'oss. di Capodimonte, Napoli — dal 1864 prof. di mat. all' univ. — dal 1889 prof. di astr. all'univ. e dirett. dell'oss. di Capodimonte (Napoli).

Ferrari G. Stanislao padre ges. fino al 1878 collaboratore del padre Secchi all' osserv. del Collegio Romano — ora prof. all'univ. pontif. e astr. priv. al proprio osserv. del Gianicolo, Roma.

Frisiani nobile **Paolo** n. 1797, m. 1880 Milano — dal 1820 al 1859 prof. di astr. e astr. all' osserv. di Brera, Milano.

* * *

Gabelli Pasquale n. 1801 Porcia, Friuli — 1826-27 astron. all'osserv. di Padova, m. a Venezia.

Gambara B. padre ges. astron. con De Vico all'osserv. del Collegio Romano, Roma, 1838-48.

Giacomelli F. astr. con Respighi ed oggi ancora all'osserv. del Campidoglio, Roma.

Giovannozzi padre **Giovanni** n. 1860 Firenze — dal 1887 dirige l'Osservatorio Ximeniano, Firenze.

Guglielmini Giov. Batt. abate, m. Bologna 1817 — prof. di matem. e di astron. all' univ. — diresse dal 1800 al 1802 l'osserv. di Bologna.

Inghirami padre **Giovanni** n. 1779 Volterra, m. 1851 Firenze — diresse a cominciare dal 1818 l'osserv. Ximeniano, Firenze — rinomato specialmente per i suoi studi e lavori geod. in Toscana.

* * *

Kreil Carlo n. 1798 Ried, Austria, m. 1862 Vienna — dal 1831 al 1839 astron. all' osserv. di Brera, Milano — in seguito a Praga prof. di astr. e dirett. dell'osserv. — dal 1851 dirett. dell'osserv. meteor. e prof. di fisica all'univ., Vienna.

* * *

Lais padre **Giuseppe** astron. alla Specula Vaticana Roma.

Lagrange Giuseppe Luigi n. 1736 Torino, m. 1813 Parigi — prof. a Torino — successore di Eulero a Berlino — prof. a Parigi — matem. sommo, applicò il genio suo ai problemi più difficili della meccanica celeste.

Legnazzi Enrico Nestore n. 1826 Brescia — astron. all' osserv. di Padova dal 1855 al 1862, dal 1866 al 1872 — ora prof. all'univ. (Padova).

Lorenzoni Giuseppe n. 1843 Rolle di Cison, Treviso — dal 1863 astron., dal 1877 dirett. dell'osserv. di Padova e prof. all'univ.

* * *

Mannucci Federico astron. addetto alla Specola Vaticana (Roma).

Mascari Antonino n. 1862 Campobello di Mazzara, Trapani — astron. dal 1883 al 1893 all'osserv. di Palermo, dal 1893 a quello astro-fisico di Catania.

Mazzola Giuseppe n. 1829? a Grana, Casale Monf. prof. all'università, per alcuni anni a part. dal 1866 astron. con Dorna all'osserv. di Torino.

Miari-Fulcis Francesco n. 1855 Belluno — dal 1880 al 1886 astron. all'osserv. di Padova.

Michez Iacopo n. 1839 Padova, m. 1873 Bologna — astron. all'osserv. di Padova dal 1861 al 1865 — dirett. dell' osserv. di Bologna a datare dal 1865.

Millosevich Elia prof. di astr. a Venezia 1872-79, dal 1879 astr. v. dir. dell'osserv. del Collegio Romano (Roma).

Mossotti Ott. Fabrizio n. 1791 Novara, m. 1863 Pisa astr. dal 1813 al 1823 all'osserv. di Brera, Milano; dovette fuggire per mot. polit. — prof. alle univ. di Buenos Ayres e di Corfù — prof. di mecc. celeste a Pisa — celebre scienziato.

* * *

Naccari Giuseppe n. 1856 Venezia — astron. all'osserv. di Padova nel 1879-80, dal 1880 prof. di astr. nautica a Venezia.

Nobile Antonio n. 1794 Campobasso, m. 1863 Napoli — astron. dal 1820 al 1863 all'osserv. di Capodimonte, Napoli; avviò agli studi astronom. il Dembowski.

Nobile Arminio n. 1839, m. 1897 Napoli — prof. di geod. all'univ. astr. (1863-97) all'osserv. di Capodimonte, Napoli.

Oriani Barnaba n. 1752 presso la Certosa di Garegnano, m. 1832 Milauo — barnabita — astr. all'osserv. di Brera, Milano, a part. dal 1773 — fra i più celebri astronomi.

* * *

Palagi Alessandro prof. all' univ., Bologna, e negli anni 1874-76 dirett. dell'osserv. di Bologna.

Peyra Domenico n. 1871, m. 1898 Torino — studiò agli osserv. di Torino e di Milano — fu a cominciare del 1895 astr. all' osserv. del Collegio Romano, Roma.

Peters C. H. F. dal 1840 al 1848 astr. all' osserv. di Capodimonte, Napoli (W. astron. stranieri).

Piazzi Giuseppe mon. teatino, n. 1746 Ponte, Valtellina, m. 1826 Napoli — fondat. e dirett. dell'osserv. di Palermo — nel 1817 chiamato a Napoli quale dirett. gen. degli osserv. del R. delle Due Sicilie — celebre astronomo pratico.

Piazzini Giuseppe astron. nel 1809 all' osserv. di Brera, Milano — in seguito prof. di astron. all'univ. di Pisa.

Pietropoli Gaetano n. 1814 Papozze, Rovigo, m. 1847 Padova — astr. dal 1843 al 1847 all' osserv. di Padova.

Plana Giovanni n. 1781 Voghera, m. 1864 Torino — fu all'osserv. di Brera, Milano, negli anni 1810-1813 — in seguito prof. all'univ. e dirett. dell'osserv. di Torino — celebre astronomo teorico.

Pons Luigi n. 1761 Peyre, Delfinato, m. 1831 Fireuze — per due anni dirett. dell' osserv. del Museo Firenze — rinomato scopritore di comete.

Porro Francesco n. 1861 Cremona — fu per tre anni all'osservatorio di Brera, Milano — passò nel 1885 a Torino — dal 1886 dirige l' osserv. di Torino — prof. di astron. all'univers.

Prosperi Antonio abate — astron. con Respighi, ed oggi ancora all'osserv. del Campidoglio, Roma.

* * *

Ragona-Scinà Domenico n. 1820 Palermo, m. 1892 Modena — dal 1848 al 1860 diresse l' osserv. di Palermo — a partire dal 1863 prof. all' univ. e dirett. dell' osserv. di Modena che trasformò da astronom. in meteorol.

Rajna Michele n. 1854 Sondrio — dal 1878 astron. all'osserv. di Brera, Milano.

Reggio Francesco padre ges. n. 1743 Genova, m. 1804 Milano — astron. a datare dal 1773 all'osserv. di Brera, Milano, dal 1777 direttore.

Respighi Lorenzo n. 1824 Cortemaggiore, Piacenza, m. 1889 Roma — prof. di astron. e dirett. dell'osserv. di Bologna dal 1848 al 1864 — in seguito prof. all'univ. e dirett. dell'osserv. del Campidoglio a Roma.

Ricchebach can. **Giacomo** n. 1776, m. 1841 Roma — astron. (1804-1824) all'osserv. del Collegio Romano, Roma.

Riccò Annibale n. 1844 Modena — astron. all' osserv. di Modena dal 1874 al 1881, all'oss. di Palermo dal 1881 al 1892, dirige dal 1892 l' osserv. astro-fisico di Catania.

Rodriguez de Preda padre **Angelo** dirett. dal 1898 della Specola Vaticana, Roma.

Rosa padre **Paolo** n. 1825 Civitacastellana, m. 1874 Roma — astr. dal 1849 all' osserv. del Collegio Romano, al quale fece dono del suo grande equatoriale di Merz.

* * *

Saija Giuseppe n. 1864 Messina — prof. a Catania e dal 1893 astron. all'osserv. astro-fisico di Catania.

Saladini Gerolamo n. 1731 Lucca, m. 1813 Bologna — prof. all' univers. — e dal 1800 al 1802 astr. all'osserv. di Bologna.

Santini Giovanni n. 1787 Caprese, Arezzo, m. 1877 Noventa Padovana — fu nel 1805-1806 all'osserv. di Brera, Milano — dal 1806 al 1813 astr. — dal 1813 al 1877 dirett. dell'osserv. di Padova e prof. all'univ. — astron. dottissimo e fra i più rinomati.

Saporetti Antonio n. 1821 Ravenna — prof all' univers. e dal 1876 dirett. dell'osserv. di Bologna.

Scarpellini Feliciano n. 1762 Foligno, m. 1840 Roma — prof. 1797 di fis. al Collegio Romano — prof. 1816 di astr. all' univ. e iniziat. dell' osserv. del Campidoglio, Roma.

Schiaparelli Giovanni n. 1835 Savigliano — fu dal 1857 al 1860 a Berlino e a Pulkova — astron. a Brera 1860-1862, dal 1862 direttore dell' osserv. di Brera, Milano.

Secchi Angelo padre gesui. n. 1818 Reggio Emilia m. 1878 Roma — dal 1849 dirett. dell'osserv. del Collegio Romano, Roma, — astronomo celebre e popolare.

Sergent-Marceau Ernesto astr. all'osserv. di Brera, Milano — dal 1856 al 1874, in seg. prof. di mat. in Istituti diversi — m. 1897 Treviglio.

Serpieri padre **Alessandro** n. 1823 Rimini, m. 1885 Firenze — allievo e collaboratore di Inghirami — passò nel 1846 prof. all'univ. di Urbino, dove si costruì un osserv. meteor.

Sestini C. padre ges. astron. con De Vico all'osserv. del Collegio Romano, Roma, 1838-48.

Slop di Cadenberg Gius. Ant. n. 1740 Cadenberg, Trento, m. 1808 Pisa — dal 1765 al 1780 astron. — dopo il 1780 prof. all'univ. e dirett. dell'osserv. di Pisa.

Stambucchi Roberto n. 1808 Milano — astron. all'osserv. di Brera dal 1820 all' epoca di sua morte avvenuta sulla fine del 1855.

* * *

Tacchini Pietro n. 1838 Modena — 1859-63 astron. dirett. all' osserv. di Modena — 1863-78 astron. all'osserv. di Palermo — dal 1879 dirett. dell' osserv. del Collegio Romano e dell' Ufficio centrale meteorol. Roma.

Tanzini padre **Pompilio** n. 1801 Pontassieve, m. 1848 Firenze — astr. con Inghirami all' osserv. Ximeniano, Firenze.

Tempel Guglielmo n. 1828 Nieder-Cunersdorf, Lausitz, m. 1889 Arcetri, Firenze — litografo e astron. dilet. a Marsiglia — 1870-75 astron. all'osserv. di Brera, Milano — dal 1875 astron. all' osserv. di Arcetri, Firenze — scopritore rinomato di comete e di picc. pian.

Trettenero Virgilio n. 1822 Recoaro, Vicenza, m. 1863 Padova — dal 1848 astron. all'osserv. di Padova — osservatore distinto.

* * *

Valperga di Caluso conte **Tommaso** n. 1737, m. 1815 Torino — prof. dottissimo all'univ. — per qualche anno dirett. dell'osserv. di Torino.

Vassalli Eandi Antonio Maria n. 1768, m. 1825 Torino — prof. di fisica all'univ. — per qualche anno dirett. dell'osserv. di Torino.

Viaro Bortolo n. 1870 Badia di Polesine — studiò all'osserv. di Padova — dal 1898 astron. all'osserv. di Arcetri, Firenze.

Zona Temistocle studiò all'osserv. di Padova — da parecchi anni astr. all'osserv. di Palermo.

Zuccari Federico si istruì nel 1809 all'osserv. di Brera, Milano — collaborò col Piazzi all'erezione dell'osservatorio di Capodimonte, Napoli — morì prematuramente a Napoli nel 1817.

I PRINCIPALI ASTRONOMI STRANIERI DEL SECOLO XIX

d'Abbadie Antonio Thompson n. 1810 Dublino, m. 1897 Parigi.

Abbe Cleveland n. 1838 New York — astr. a Washington.

Adams Giovanni Couch n. 1819 Lancast — prof. a Cambridge. Ingh.

Airy Giorgio Biddel n. 1801 Aluwick in Northumberland, m. 1892 Londra.

André Carlo Luigi n. 1842 Chauny Aisne — prof. a Lione.

Arago Domenico Francesco n. 1786 Estagel Perpignano, m. 1853 Parigi.

Argelander Federico Guglielmo Augusto n. 1799 Memel, m. 1875 Bonn.

d'Arrest Enrico Luigi n. 1822 Berlino, m. 1875 Kopenhagen.

Auwers Arturo n. 1838 Gottinga — prof. a Berlino.

* * *

Backlund Giovanni Oscar n. 1846 Lenghem Svezia — astr. a Pulkova.

Baily Francesco n. 1773 Newbury, m. 1844 Londra.

Bakhuijsen van de Sande H. G. n. 1838 Haag — astr. a Leida.

Ball sir Roberto Stawell n. 1840 Dublino — astr. a Dublino, Irlanda.

Barnard E. E. astron. all'osser. Lick, California.

Becker Ernesto Emilio n. 1843 Emmerich — astr. a Strasburgo.

Beer Guglielmo n. 1797 Berlino, m. 1850 Berlino.

Benzenberg Giovanni Federico n. 1777 Schöller, m. 1846 Bilk.

Bessel Federico Guglielmo n. 1748 Minden, m. 1846 Königsberg.

Biela (barone di) **Guglielmo** n. 1782 Rosslau, m. 1856 Venezia.

Bigourdan Guglielmo n. 1851 Sistels — astr. a Parigi.

Biot Edoardo n. 1803 Parigi, m. 1850 Parigi.

Biot Giovanni Battista n. 1774 Parigi, m. 1862 Parigi.

Birmingham Giovanni n. 1829 Millbrook, m. 1884 Millbrook, Irlanda.

Bode Giovanni Elert n. 1747 Amburgo, m. 1826 Berlino.

v. Boguslawski Giorgio Enrico n. 827 Breslavia, m. 1884 Berlino

Böhm Giuseppe Giorgio n. 1807 Rozdialowitz, m. 1868 Praga.

v. Bohnenberger Giovanni n. 1765 Simmozheim, m 1831 Tubbinga.

Bond Cranch Guglielmo n. 1789 Portland, m. 1859 Cambridge S. U.

Bond Giorgio Filippo n. 1825 Dorchester, m. 1865 Cambridge S. U.

Bouvard Alessio n. 1767 Haut Fauchiny, m. 1843 Parigi.

Brandes Enrico Guglielmo n. 1777 a Groden, m. 1834 Lipsia.

Braun Carlo n. 1831 Neustadt — astr. Kalocsa, Ungheria.

Bredichin Fedor n. 1831 Nicolajew — astr. a Mosca.

Bremiker Carlo n. 1804 Hagen, m. 1877 Berlino.

Brisbane Sir Tommaso Macdougall n. 1773 morto 1860 Brisbane-House.

Brorsen Teodoro n. 1819 Norburg, m. 1895 Löiterhoft.

Bruhns Carlo Cristiano n. 1830 Ploen, m. 1881 Lipsia.

Bruns Ernesto Enrico n. 1848 Berlino — astr. a Lipsia.

Brünnow Francesco Federico n. 1821 Berlino — astr. a Berlino, a Bilk, a Ann-Arbor, a Dublino.

Burckhardt Giovanni Carlo n. 1773 Lipsia, m 1825 Parigi.

Bürg Giovanni Tobia n. 1766 Vienna, m. 1834 Wiesenau.

* * *

Callandrau Pietro n 1852 Angoulême — astr. a Parigi.

Carrington Riccardo n. 1826 Clulsea, m. 1875 Churt, Surrey.

Cassini conte di **Thury Giacomo Domenico** n. 1748 Parigi, m. 1845 Thury-sur-Clermont.

Chacornac Giovanni n. 1823 Lione, m. 1873 Ville Urbanne.

Challis Giacomo n. 1803 Bramtree, Essex, m. 1882 Cambridge.

Chambers Carlo n. 1834 Worthley. Ingh — astr a Bombay.

Chandler S. C. n. 1844 Boston — astr. a Cambridge, S. U.

Chauvenet Guglielmo n. 1820 Filadelfia, m. 1870 St. Paul, Minn. S. U. A

Christie Guglielmo n. 1845 Wolwich, Kent — astr. a Greenwich.

Clark Alvan n. 1804 Ashfield Mass., m. 1887 Cambridge — Port.

Clausen Tommaso n. 1801 Nübel, Schleswig, morto 1885, Dorpat.

Coggia Gerolamo n. 1849 Ajaccio — astr. a Marsiglia.

Copeland Ralph n. 1837 Woodplumpton, Lancashire — astr. Edinburgo

Coulvier Gravier n. 1802 Rheims, m. 1868 Parigi.

Cruls Luigi n. 1848 Diest, Brabante — astr a Rio de Janeiro.

Damoiseau barone **M. C. T.** n. 1768 Besançon, m. 1846 Issy, Parigi.
Dase Zaccaria n. 1824, m. 1861 Amburgo.
Davis Carlo Enrico n. 1807 Boston, m. 1877 Washington S. U.
Dawes Guglielmo n. 1799 Londra, m. 1868 Haddenham, Berksh.
Delambre Giov. Batt. n. 1748 Amiens, m. 1822 Parigi.
Delaunay Carlo Eugenio n. 1816 Lusigny, m. 1872 Cherbourg.
Denning Guglielmo Feder. n. 1848 Braysdown — astr. a Bristol.
Dien Carlo n. 1809, m. 1870 Parigi.
Döllen Giov. Enr. Gugl. n. 1820 Mitau — m. 1897 Dorpat.
Draper Enrico n. 1837 Virginia, m. 1882 New-York.
Dreyer Giov. Luigi Em. n. 1852 Kopenhagen — astr a Armagh, Irlanda.
Dubois Edmondo n. 1822, Brest — astr. a Brest.
Dufour Carlo n. 1827 Veytaux, Vaud — prof. a Losanna.
Dunèr Nils Cristof. n. 1839 Billeberga, Schonen — astr. a Upsala.

* * *

Eisenlohr Guglielmo n. 1799 Pforzheim, m. 1872 Karlsruhe.
Eisenlohr Ottone n. 1806 Karlsruhe, m. 1853 Bad Antogast.
Ellis Guglielmo n. 1828 Greenwich — astron. a Greenwich.
Encke Giov. Fran. n. 1791 Amburgo, m. 1865 Spandau, Berlino.
Engelmann Rodolfo n. 1841, m. 1888 Lipsia.
Englefield barone **Enr. Carl.** n. 1752 (?), m. 1822 Londra.
Erman Giorg. Adol. n. 1806, m. 1877 Berlino.
Everest sir Giorgio n. 1790 Governvale, Brecon, m. 1866 Londra.

* * *

Faye Hervé Augusto n. 1814 St. Benoit du Sault — astr. a Parigi.
Fearnley Carlo Feder. n. 1818 Frederikshald, Norv. m. 1890 Christiania.
Fedorenko Giovanni n. 1824 Charkow, m. 1888 Charkow Rus.
Feldt Lorenzo n. 1796 Dambitsch, Posen, m. 1882 Kösen.
Ferrel Guglielmo n. 1817 Pennsilvania, m. 1891 Maywood, Kansas.
Fiévez Carlo n. 1844, m. 1890 Bruxelles.
Fischer Filippo n. 1818, m. 1887 Darmstadt.
Flammarion Camillo n. 1842 Montigny-le-Roi — astr. Iuvisy, Parigi.
Flaugergues Onorato n. 1755, m. 1835 Viviers.
Flemming Guglielmo n. 1812, m. 1840 Danzica.
Förster Guglielmo n. 1832 Grünberg, Slesia — astr. a Berlino.
Folie Francesco n. 1833 Venloo — astr. a Bruxelles.
Francoeur Luigi Ben. n. 1773, m. 1849 Parigi.
Fraunhofer Giuseppe n. 1787 Straubing, m. 1826 Monaco, Bav.
Frischauf Giovanni n. 1837 Vienna — astr. a Gratz.
Fuss Giorg. Alb. n. 1806 S. Pietroburgo, m. 1854. Wilna.

Galle Giov. Golt. n. 1812 Wittenberg — astr. a Breslavia ora a Potsdam.
Gambart Giov. Adolf. n. 1800 Cette, m. 1836, Parigi.
Gambey Enrico n. 1787 Troyes, m. 1847 Parigi.
Gauss Carlo Feder. n. 1777 Braunschweig, m. 1855 Gottinga.
Gautier Alfredo n. 1793, m. 1881 Ginevra.
Gautier Raoul n. 1854 Ginevra — astr. a Ginevra.
Gelcich Eugenio n. 1854 — astr. a Cattaro, Dalmazia.
Gill Davide n. 1843 Aberdeen — astr. al Capo di B. S.
Gillis Giacomo n. 1811 Georgetown, Columbia, m. 1865 Washington.
Glaisher I. W. L. n. 1848 Lewisham, Kent — astr. a Greenwich.
de Glasenapp S. n. 1848 — astr. a S. Pietroburgo.
Goldschmidt Ermanno n. 1802 Francoforte s M., m. 1866 Fontainebleau.
Gould Beniamino n. 1824 Boston — astr. a Albany, a Cordoba, a Cambridge.
Graham Andrew n. 1815 Irlanda — astr. a Cambridge Ingh.
Grant Roberto n. 1814 Grantoun, m. 1892 Glasgow.
Groombridge St. n. 1755, m. 1832 Blackheath.
Gruithuisen Fr. P. n. 1774 Haltenberg, m. 1852 Monaco B.
Günther Gug. Fed. n. 1814 Bunzlau, m. 1869 Breslavia.
Gyldèn Giov. Aug. Ugo n. 1841 Helsingfors, m. 1896 Stoccolma.

* * *

Hall Asaph n. 1829 Goshen, Conn. — astr. a Washington.
Hansen Pietro Andr. n. 1795 Tondern, Schleswig, m. 1874 Gotha.
Hansteen Cristof. n. 1784, m. 1873 Christiania.
Harding Carl. Lud. n. 1765 Lawemburg, m. 1834 Gottinga.
Hartwig Ern. Gug. n. 1829 Pirna — prof. a Rostock.
Hartwig C. E. Alb. n. 1851 Francoforte s. M. — astr. a Dorpat.
Heis Edoardo n. 1806 Colonia, m. 1877 Münster.
Helmert Fed. Rob. n. 1843 Freiberg, Sass. — prof. a Berlino.
Hencke Carl. Lud. n. 1793 Driesen, m. 1866 Marienwerder.
Henderson Tom. n. 1798 Dundee, m. 1844 Edinburgo.
Henry Paol. Piet. n. 1848 Nancy — astr. a Parigi.
Henry Mat. Pros. n. 1849 Nancy — astr a Parigi.
Herschel Fed. Gugl. n. 1738 Hannover, m. 1822 Slough, Ingh.
Herschel Carolina n. 1750, m. 1848 Hannover.
Herschel sir Giov. Fed. Gug. n. 1792 Slough, morto 1871 Londra.
Herschel Aless. n. 1836 Capo B. S. — astr. priv. a Slough, Ingh.
Herschel Giov. n. 1837 Capo B. S. — astr. priv. a Slough.
Hind Giov. Russell. n. 1823 Nottingham, m. 1895 Londra.
Hirsch Adolfo n. 1830 Halberstadt — astr. a Neuchâtel.
Hoek Martino n. 1834 Haag, m. 1873 Utrecht.
Holden Edoardo n. 1846 St. Louis, Missoury — astr. a M. Hamilton.
Hornstein Carlo n. 1824 Brünn, m. 1882 Praga.

Houzeau de la Haye Giov. Carl. n. 1820 Mons, m. 1888 Bruxelles.
Huggins Guglielmo n. 1824 Londra — astr. priv. a Londra.

* * *

Iacob Guglielmo S. n. 1813 Woolavington, m. 1862 Poonah, India.
Iahn Gustavo Ad. n. 1804, m. 1857 Lipsia.
Ianssen Piet. Gi. Ces. n. 1824 Parigi — astr. a Meudon, Parigi.
Ideler Crist. Lodov. n. 1766 Gross-Brese, m. 1846 Berlino.
Ielinck Carlo n. 1822 Brünn, m. 1876 Vienna.
Iohnson Giov. Em. n. 1805, m. 1859 Oxford.

* * *

Kaiser Federico n. 1808 Amsterdam, m. 1872 Leida.
Kayser Ernest. n. 1830 Danzica — astr. Danzica.
Kirkwood Daniele n. 1814 Harford S. U. — prof. em. Bloomington.
Klein Erm. Gius. n. 1841 Colonia — astr. a Colonia.
Klinkerfues Er. Fed. Gug. n. 1827 Hofgeismar, m. 1884 Gottinga.
Knorre Carl. Feder. n. 1801 Dorpat, m. 1883 Berlino.
Knorre Vittorio n. 1840 Nikolajew, Rus. — astr. a Berlino.
Kobold Erm. n. 1858 Hannover — astr. a Strasburgo.
Konkoly von n. 1842 Budapest — astr. priv. a O-Gyalla.
Kreutz Enr. n. 1854 Siegen — astr. a Kiel.
Krüger Carl. Nic. Adalb. n. 1832 Marienburg, m. 1896 Kiel.
Küstner Feder. n. 1856 Görlitz — astr. a Amburgo.

* * *

La Laude Gius. Gerol. n. 1832 Bourg-en-Bresse, m. 1807 Parigi.
La Lande Lefrançais de. n. 1766 Courey, m. 1839 Parigi,
Lamont Giov. n. 1805 Bracmar, Scoz., m. 1879 Monaco, Bav.
Lancaster Alberto n. 1849 Mons — astr. met. a Bruxelles.
Langley Samuele n. 1834 Boston — astr. Washington.
La Place, march. di, **Piet. Sim.** n. 1749 Beaumont-en-Auge, m. 1827 Parigi.
Lassell Guglielmo n. 1799 Bolton, m. 1880 Maidenhead, Ingh.
Laugier Paol. Aug. Ern. n. 1812, m. 1872 Parigi.
Legendre Adriano Mar. n. 1752, m. 1833 Parigi.
Lehmann Gugliel. Giac. n. 1800 Potsdam, m. 1863 Potsdam.
Le Verrier Urbano Giov. Gius. n. 1811 Saint-Lò, m. 1877 Parigi.
Liagre Giov. Batt. n. 1815 Tournay, m. 1891 Bruxelles.
Lindemann Edoard. n. 1842 Nischnij-Nowgorod — astr. a Pulkova.
von Lindenau Bern. Aug. n. 1780, m. 1854 Altenburg.
Lindhagen Dan. Giorg. n. 1819 Ost-Gothland — astr. a Upsala, ora a Stoccolma.
Linsser Carlo n. 1837 Meiningen, m. 1869 Pulkova.
Littrow Gius. Giov. n. 1781 Bischof-Teinitz, Boem., m. 1840 Vienna.
Littrow Carlo Lod. n. 1811 Kasan, m. 1877 Venezia.
Lockyer Gius. Norm. n. 1836 Rugby, Ingh. — astr. a Londra.
Loewy Maurizio n. 1833 Vienna — astr. a Parigi.
Lohrmann Gugliel. n. 1796, m. 1840 Dresda.
Lohse Osvaldo n. 1845 Lipsia — astr. a Potsdam.
Loomis Elia n. 1811 Connecticut, m. 1889 New-Haven.
Lubbock, sir, **Giov. Gugl.** n. 1803 Londra, m. 1865 Kent.
Luther Edoardo n. 1816 Amburgo, m. 1887 Königsberg.
Luther Carl. Teod. Rob. n. 1822 Schweidnitz — astr. a Düsseldorf.

* * *

Maclear sir **Tom.** n. 1794 Tyrone, Irl., m. 1879 Capstadt.
Mädler Giov. Enr. n. 1794 Berlino, m. 1874 Hannover.
Mariè-Davy Edm. Ip. n. 1820, m. 1893 Clamecy.
Marth Alb. n. 1828 Colberg — astr. Markree, Irl.
Maskelyne Nevil n 1732 Londra, m. 1811 Greenwich.
Mathieu Claud. Luig. n. 1789 Macon, m. 1875 Parigi.
Maury Matt. Font. n. 1806 Virginia, m. 1873 Lexington.
Maxwell Giac. Clerk. n. 1831 Edinburgo, m. 1879 Cambridge, Ingh.
Méchain P. F. A. n. 1744 Laon, m. 1804 Valencia.
Messier Carlo n. 1730 Badenwiller, m. 1817 Parigi.
Meyer Mass. Gugl. n. 1853 Braunschweig — astr. a Berlino.
Moebius Aug. Ferd. n. 1790 Schulpforts, m. 1868 Lipsia.
Moesta Car. Gug. n. 1825 Zierenberg, m. 1884 Dresda.
Mohn Enr. n. 1835 Bergen — prof. Christiania.
Mouchez E. A. B. n. 1821 Madrid, m. 1892 Parigi.

* * *

Nasmyth Giac. n. 1808 Edinburgo, m. 1890 Londra.
Newcomb Simone n. 1835 Wallace, N. S. — prof. astr. a Washington.
Newton Ubert-Anson n. 1830 Sherburne N. Y, m. 1896 New-Haven.
Nicolai F. B. G. n. 1793 Braunschweig, m. 1846 Mannheim.
Nyren Magnus n. 1837 Warmland, Swez — astr. a Pulkova.

* * *

Oeltzen Gugl. Al. n. 1824 Hannover, m. 1875?
Olbers E. G. M. n. 1758 Arbergen, m. 1840 Bremen.
Olmsted Denison n. 1794 Conneticut, m. 1859 New-Haven.
Olufsen Crist. F. R. n. 1802, m. 1855 Kopenhagen.
Oppolzer von Teod. n. 1841 Praga, m. 1886 Vienna.
Oudemans G. A. C. n. 1827 Amsterdam — astr. a Utrecht.

* * *

Palisa Giov. n. 1848 Troppau — astr. a Vienna.
Pape Carl. Fed. n. 1834 Verden., m. 1862 Altona.
Pearson Gug. n. 1767 Whitbeck, m. 1847 South Kilworth.
Pechüle Carl. Fed. n. 1843 Kopenhagen — astr. Kopenhagen.
Peirce Ben. n. 1809 Salem, Mass., m. 1888 Cambridge. S. U.

Perrotin Gius. n. 1845 St. Loup. — astr. a Nizza.
Peters Crist. Aug. Fed. n. 1806 Amburgo, m. 1880 Kiel.
Peters Crist. Enr. Fed. n. 1813 Flensburg, m. 1890 Clinton S. U.
Petersen Adolfo n. 1804 Wester-Bau, Schl., m. 1854 Altona.
Piazzi Smyth Carlo n. 1819 Napoli — astr. Edinburgo.
Pickering Carl. Ed. n. 1846 Boston — astr. a Cambridge S. U.
Plantamour Em. n. 1815, m. 1882 Ginevra.
Pogson Norm. Rob. n. 1829 Nottingham, m. 1891 Madras., Ind.
Pond Giov. n. 1767 Londra, m. 1836 Blackheath.
Pontècoulant F. P. n. 1795, m. 1874 Parigi.
Powalky Carl. Rod. n. 1817 Gotha, m. 1881 Washington.
Pritchard Carlo n. 1808 Alberbury, m. 1893 Oxford.
Proetor Ricc. Ant. n. 1837 Chelsea, m. 1888 New York.
Puiseux Vitt. Al. n. 1818, m. 1883 Fontenay.

. . .

Quetelet Adolfo n. 1796 Gent., m. 1874 Bruxelles.
Quetelet Ernesto n. 1825 Bruxelles, m. 1878 Ixelles.

* * *

Radau Rod. n. 1835 Angerburg — astr. a Parigi.
Ranyard Arturo n. 1845 Swanscombe, m. 1894 Londra.
Rayet Giorg. Ant. P. n. 1839 Bordeaux — astr. Bordeaux.
Robinson Tom. n. 1792 Dublino, m. 1882 Armagh Irl.
Roche Ed Alb. n. 1820, m. 1883 Montpellier.
Romberg Erm. n. 1836 Bromberg — astr. a Pulkova.
Rosenberger O. A. n. 1800 Tuckum, Kurl, m. 1890 Halle.
Rosse lord G. P. n. 1800 Irlanda, m. 1863 Monkstown.
Rothman R W. n. ? m 1856 Londra.
Rümker Giorg. F. G. n. 1832 — astr. a Amburgo.
Rutherfurd L. M. n. 1816 Morrisania N. Y. — astr. a New York.

* * *

Savary Felice n. 1796 Parigi, m. 1841 Estagel.
Sawitsch Al. N. n. 1811 Bjelowodsk, m. 1883 Gouv. Tula.
Schäberle I. M. n. ? — astr. a Monte Hamilton.
Scaub Fran. n. 1817 Gross-Schweinbarth, m. 1871 Trieste.
Schjellerup H. C. F. n. 1827 Odense, m. 1887 Kopenhagen.
Schmidt Giov. Fed. Giul. n. 1825 Eutin, m. 1884 Atene.
Schmidt Edoardo n. 1803 Lipsia, m. 1832 Tubbinga.
Schönfeld Edoardo n. 1828 Hidburghausen, m. 1891 Bonn.
Schott C. A. n. 1826 Mannheim — astr. geod. a Washington.
Schröter Giov. Ger. n. 1745, m. 1816 Erfurt.
Schubert Ern. n. 1813 Gleinitz, 1873 m. Francoforte s. M.
Schulhof Leop. n. 1850 Baja, Ungh. — astr. a Parigi.
Schultz Erm. n. 1823 Södermannland, m. 1890 Stoccolma.
Schumacher E. C. n. 1780 Eramsted, Holstein, m. 1850 Altona.
Schur A. C. G. n. 1846 Altona — astr. a Gottinga.
Schwabe S. E. n. 1789, m. 1875 Dessau.
Schwarz L. n. 1822 Danzig, m. 1894 Dorpat.
Schweizer G. G. n. 1816 Wyla. C. Zur.. m. 1873 Mosca.
Searle Arturo n. 1837 Londra — astr. a Cambridge S. U.
Sédillot G. G. E. n. 1777 Montmoremy, m. 1832 Parigi.
Seeliger Ugo n. 1849 Bielitz-Biala, Slesia, — astr. a Monaco Bav.
Seyffer von C. S. n. 1762 Bixfeld, m. 1822 Monaco.
Sidler G. G. n. 1831 Zug — prof. a Berna.
Somerville Maria n. 1790 Iedburg, Scozia, m. 1872 Napoli.
Spörer G. F. G. n. 1822 Berlino, m. 1895 Giessen.
Steinheil C. A. n. 1801 Rappoltsweller, Alsazia, m. 1870 a Monaco.
Stephan G. M. Ed. n. 1837 Sainte-Pezenne — astr. a Marsiglia.
Stewart Balfour n. 1828 Edinburgo, m. 1887 Ballymagawey, Irl.
Stone Ed. Giac. n. 1833 Londra, m. 1897 Oxford.
Stone Orm. n. 1847 Pekin, Illinois — astr. a Charlottesville, Virg.
Struve Fed. Gi. Gug. n. 1793 Altona, m. 1864 San Pietroburgo.
Struve Otto Gug. n. 1819 Dorpat — astr. a Pulkova, ora priv. a Carlsruhe.
Struve Erm. n. 1854 Pulkova — astr. a Königsberg.
Struve Lod. n. 1858 Pulkova — astr. a Dorpat.
Svanberg Gust. n. 1802, m. 1882 Upsala.
Swift Lewis n. 1820 Clarkson N. Y. — astr. a Rechester S. U.

. . .

Taylor Tom. Glan. n. 1804 Ashburton, m. 1848 Southampton.
Tebbut Giov. n. 1834 Windsor, Australia — astr. priv. a Windsor.
Terby T. G. C. n. 1846 — astr. priv. a Löwen, Belgio.
Thollon Luigi n. 1829 Ambronay, m. 1887 Nizza.
Tietjen Fed. n. 1834 Westerstede, m. 1895 Berlino.
Tisserand Fran. Fel. n. 1845 Nuits, Côte-d'Or, m. 1896 Parigi.
Todd sir Carlo n. 1826 Londra — astr. a Adelaide, Australia.
Todd Davide P. n. 1855 Lake Ridge, N. Y. — astr. Amherst-Mass. S. U.
Triesnecker Fr. n. 1745 Kirchberg, Aus., m. 1817 Vienna.
Trouvelot S. L. n. 1827 Guyenevurt — astr. a Meudon, Parigi.

. . .

Valentiner C. G. F. G. n. 1845 Eckernförde — astr. a Karshruhe.
Valz G. E. B. n. 1787 Nimes, m. 1867 Marsiglia.
Vidal Giac. n. 1747 Mirépoix, m. 1819 Parigi.
Villarceau, Yvon, A. G. F. n. 1813 Vendôme, m. 1883 Parigi.
Vogel Edm. n. 1829 Crefeld, m. 1856 Wadai, Africa centrale.
Vogel Erm. Gugl. n. 1834 Doblilugk — prof. a Berlino.
Vogel Erm. Carlo n. 1842 Lipsia — astr. a Potsdam.

Wagner Augusto n. 1828 Nerft, Curlandia, m. 1885 Pulkova.

Watson Giac. Craig. n. 1838 Elgin, Ontario, m. 1880 Madiso S. U.

Weiss Edmondo n. 1837 Freiwaldau — astr. a Vienna.

Weisse Massim. n. 1798 Landendorf. Aus., m. 1863 Wels.

Winnecke Fed. Aug. n. 1835 Hannover, m. 1897 Bonn.

Wolf Rodolfo n. 1816, m. 1893 Zurigo.

Wolf Carl. Gius. Stef. n. 1827 Vorges — astr. a Parigi.

Wolfers Giac. Fil. n. 1803 Minden, m. 1878 Berlino.

Wollaston Fr. n. 1731, m. 1815 Chiselhurst, Ingh.

Wrottesley lord Giov. n. 1798, m. 1867 Wrottesley Hall.

. . .

Yarnall Mord. n. 1816 Ohio, m. 1879 Washington.

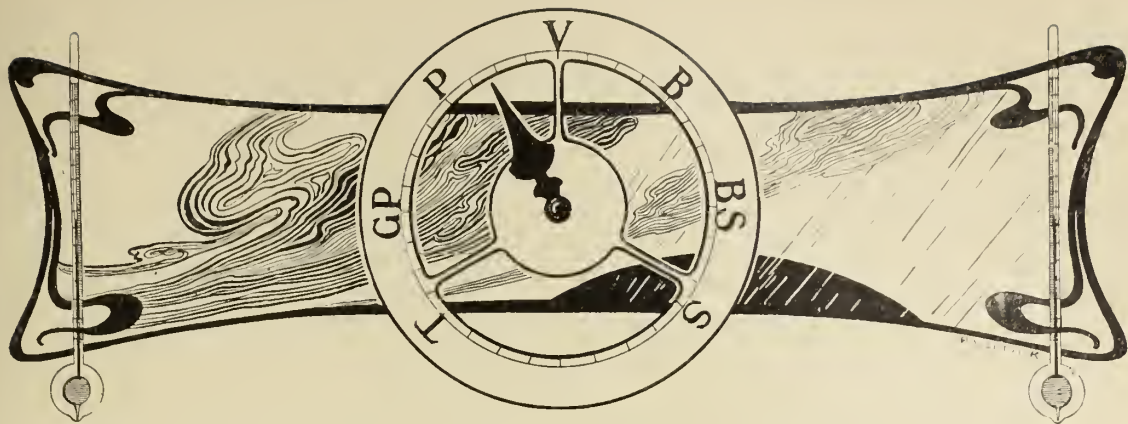
Young Carl. Aug. n. 1834 Hannover — astr. Princeton, S. U.

. . .

Zach von Ant. n. 1747 Pesth, m. 1826 Gratz.

Zech Giulio n. 1821, m. 1864 Stuttgart.

Zöllner Giov. Car. Fed. n. 1834 Berlino, m. 1882 Lipsia.

FISICA
TERRESTRE

INTRODUZIONE

La Fisica terrestre si può dire una scienza non nata, ma rinata, col Secolo XIX.

I fenomeni della natura che ne circonda erano stati, anche nei secoli che precedettero il nostro, oggetto costante della meditazione del filosofo, della contemplazione dell'artista e, dopo Galileo, dell' analisi sperimentale dello scienziato. Costituendo essi il substrato di quasi tutte le nostre conoscenze, di quasi tutte le nostre emozioni e perciò di quasi tutte le nostre attività esteriori e interiori, in nessuna epoca l'uomo potè sottrarsi al fascino del loro mistero, e all'intenso desiderio di penetrarlo. Ma per molti secoli questo mistero soggiogò la ragione umana che, o vi si sottomise in una contemplazione indefinita, estetica o mistica, o vi si smarrì in un labirinto di teorie, dove piuttosto era il pensiero che si rifletteva nelle cose, che non le cose nel pensiero.

Soltanto col sorgere, nel secolo XVII, del metodo sperimentale si aprì un primo spiraglio verso una visione obbiettiva dei fenomeni naturali. Si assodò anzitutto la posizione della Terra nel sistema del Mondo: spogliato dell'aureola maestosa di re dell'universo, soggetto a tutti i capricci dei suoi cortigiani, il nostro pianeta assunse un' individualità più modesta, ma più libera nelle sue manifestazioni, vivente e operante per forze proprie, sotto l'impulso dall'energia solare.

I progressi rapidissimi delle scienze fisiche dimostrarono ben presto che molte di queste forze si riducevano facilmente alle leggi della meccanica, che la maggior parte dei fenomeni naturali suscettibili di misura si potevano ridurre a fenomeni di movimento, e che di molti altri, pur non riducibili a principii meccanici, si poteva fare una riproduzione sperimentale, con che perdevano quel carattere di sopranaturalità che aveva colpito la fantasia e perturbato la ragione delle passate generazioni. L'invenzione del termometro, dell'igrometro, del barometro, della macchina pneumatica, del pendolo e degli orologi, dei telescopî e microscopii, diede modo fin dal secolo XVII di defi-

nire e misurare molti elementi morfologici e fisici della superficie terrestre e de' suoi involucri fluidi, mare ed atmosfera, e di paragonare le misure di questi elementi raccolte in varii punti.

Nasceva perciò spontanea l'idea di studiare la terra come individuo fisico a sè, o, in altre parole, di coordinare i fenomeni fisici conosciuti, in quanto si riferivano a questo corpo celeste, che ha il privilegio di essere la casa dell'uomo ragionevole. E infatti fin dal 1664 un medico tedesco stabilito in Olanda, VARENIUS (propriamente VAREN), pubblicava ad Amsterdam una *Geographia generalis*, il cui oggetto, com'egli lo definisce con molto rigore, è precisamente quello delle attuali Geografie matematica e fisica.

Geografia, egli definisce, *dicesi una scienza matematica mista che insegna le proprietà misurabili* (affectiones a quantitate dependentes) *della Terra e delle sue parti, cioè la figura, il luogo, la grandezza, il moto, i fenomeni celesti e le altre proprietà affini.*

Geografia generale chiama poi quella *che considera la Terra in genere e ne spiega i fenomeni non tenendo conto della divisione in particolari regioni.*

Reca sorpresa, soltanto a scorrere l'indice di quest'opera veramente notevole, il trovarvi quasi lo stesso piano dei nostri attuali trattati di Geografia fisica e matematica, la stessa vastità e generalità di concezione, che abbraccia e collega tutti i fatti e i fenomeni allora noti della Morfologia terrestre, dell'Oceanografia e dell'Idrografia, della Meteorologia e della Climatologia, della Geografia matematica, dell'Arte nautica. Ma reca anche maggior sorpresa la rigorosa obbiettività della trattazione, pregiudicata talvolta da incosciente influenza delle teorie fisico-filosofiche allora dominanti, ma non mai da quei preconcetti teologici o teleologici, che considerano i fenomèni non in sè stessi, ma come diretti a un scopo, come subordinati allo sviluppo dell' umanità, preconcetti che pur traviarono per molto tempo la nostra dottrina anche nel Secolo XIX. Certamente l'ambito della scienza fisica ai tempi di VARENIUS, e più ancora quello dei fatti geografici allora conosciuti, erano troppo ristretti, perchè in molti punti il piano dell'opera non appaia monco e le dimostrazioni assai spesso difettose. o anche cervellotiche. Ciò non toglie tuttavia che, per l'epoca nella quale fu pubblicata, l'opera del VARENIUS non debba considerarsi come un vero monumento, e che l'autore non debba riconoscersi come il fondatore della Geografia fisica. L'importanza dell'opera fu riconosciuta da NEWTON, che nel 1672 ne curò una traduzione per uso de' suoi scolari di Cambridge. L'autorità del traduttore si riverberò sull'opera, che ebbe un incontro straordinario in Inghilterra, tanto che le varie edizioni pubblicatene rapidamente si esaurirono, e nel 1712 il Dottor Bentley sentì la necessità di rimediare a tale mancanza, *che era di gran danno alla gioventù accademica*, e ne affidò una nuova edizione al dottor Giacomo JURIN, che vi aggiunse un'appendice delle nuove scoperte e invenzioni. Per molti anni essa rimase come testo riconosciuto in tutti i paesi civili, e ancora nel 1755 ne era fatta una traduzione in francese. (Paris, Vincent et Lottin in 4 vol.). Il trattato di Geografia fisica dello svedese BERGMAN, tradotto in tedesco nel 1769, e le lezioni che EMANUELE KANT tenne tra il 1774 e il 1793 a Königsberg, e che furono pubblicate dopo la sua morte, possono considerarsi come continuazione dell'in-

dirizzo scientificamente obbiettivo di Varenius, ma non segnano un progresso notevole, che poteva essere dato soltanto dal progresso delle scienze sussidiarie.

Quasi contemporaneo all'opera di Varenius, veniva pubblicato in Firenze un opuscolo di Niccolò Stenone danese nel quale venivano per la prima volta gettate le basi della Geologia. Studiando i terreni della Toscana egli pel primo ne rilevò con sufficiente esattezza la stratificazione, attribuendola alla sedimentazione compiutasi nelle epoche primitive della terra in seno alle acque, e sostenendo perciò che in origine gli strati dovevano essere orizzontali; a tale conclusione era condotto dalla considerazione dei fossili, che egli, contro gli strambi pregiudizii del tempo, sostenne apertamente essere avanzi di animali e piante, e non già semplici scherzi della natura o tentativi di un Creatore inesperto che volesse abituare la mano alla creazione degli esseri viventi, o concrezioni terrose, o semplici pietre figurate prodotte dall' influsso degli astri o da un' aura seminale soffiante dal mare a fecondare la terra.

Galileo Galilei.

Sarebbe stato di grande giovamento alla Scienza allora nascente della vita superficiale, questa nuova scienza della struttura interna della terra. Era l'anatomia che veniva in sussidio della fisiologia terrestre, spiegando l'intima struttura di quegli organi di cui la Fisica terrestre studia le funzioni. Ma perciò sarebbe stato necessario che la nuova Geologia avesse potuto procedere, come procede ai giorni nostri, libera da preconcetti, con metodo obbiettivo. Stenone dà un esempio mirabile di tale obbiettività, nonostante la novità affatto originale della sua ipotesi, la scarsità dei fatti sui quali doveva costruirla e i pericoli dell'argomento che, toccando, come già la teoria Copernicana, alla tradizione biblica, imponeva grande cautela alla coscienza e alla prudenza dello scienziato. Ma non per nulla egli scriveva a Firenze, patria e sede ancora indiscussa del metodo sperimentale, in comunione di lavoro con Vincenzo Viviani e Francesco Redi.

Pur troppo la novità e l'arditezza dell'argomento, che toccava i fondamenti della tradizione e della fede, sedussero la mente di troppi naturalisti, filosofi e teologi, o affatto digiuni di metodo scientifico o traviati da preconcetti estranei alla scienza. La presenza di fossili marini sulla terra ferma, anche sulle alte montagne, era, da parte dei più autorevoli sostenitori delle idee di Stenone, incominciando da Stenone stesso, un testimonio parlante del diluvio biblico. Fu quindi una gara nell'escogitare teorie, l'una più fantastica dell'altra, a spiegazione del cataclisma diluviale, basandosi specialmente sulla interpretazione dei libri sacri; e poichè, per spiegare ciò che il cata-

clisma aveva fatto della terra, era necessario spiegare cosa fosse la terra prima del diluvio, la scienza fisica e la scienza sacra si allearono nell'architettare altre teorie, onde spiegare la genesi delle roccie, la formazione delle montagne, la distribuzione dei continenti e dei mari, l'origine delle acque, ecc. insomma per definire cos' è questa terra, e perchè è quello che è. La così detta *Teoria della terra* occupò quasi tutto il secolo XVIII, esercitando l'acume e la fantasia degli ingegni più eletti, e sviandoli dalla strada maestra dell' osservazione, dell' esperienza e del calcolo. Osservatori diligenti e positivi come WOODWARD, a cui si deve fin dagli ultimi anni del secolo XVII uno studio diligente degli strati nelle miniere inglesi, come SCHEUCHZER autore di una interessante illustrazione fisica e climatologica della Svizzera, e come LINNEO e BUFFON, le cui benemerenze nel campo delle Scienze naturali non è necessario ricordare; filosofi come il grande LEIBNIZ che fin dal 1693, annunciando la sua *Protogaea* (pubblicata solo dopo la sua morte, nel 1748) sapeva distinguere le roccie plutoniche dalle sedimentari, o come l'enciclopedista barone di HOLBAC, perfino come KANT; fisici come HOOKE, uno dei più geniali inventori che la storia della fisica ricordi, non indegno competitore di Newton, e come WHISTON che Newton stesso aveva voluto suo successore nella cattedra di Cambridge; questi, e innumerevoli altri benemeriti studiosi, sacrificarono parte del loro ingegno all'argomento di moda, lottando fra la lettera della Genesi e la logica dei fatti, fra la tirannia sistematica di teorie preconcette e la molteplicità sempre crescente e incoercibile dei dati d'osservazione.

Non bisogna tuttavia credere che questo fermento straordinario di idee e di passioni scientifiche sia stato interamente a danno della scienza. La Teoria della terra fu, per rispetto alla Geologia, quello che l' Alchimia per rispetto alla Chimica. Non soltanto nella Scrittura e nella fantasia cercavano armi per la polemica, ma anche nell'osservazione sempre più estesa e profonda dei fatti geologici, finchè questi furono tanti da poter essere coordinati, per opera specialmente di WERNER e HUTTON, a sistemi scientifici, reggentisi per forza propria senza bisogno di prove extra-scientifiche, e abbastanza complicati e minuti da escludere il dilettantesimo dei filosofi naturalisti. Anche molte generalizzazioni o teorie geologiche, che ora hanno unanime consenso, furono intravvedute e formulate esattamente fino d'allora; travolte nel turbine polemico, risorgono ora su una base più larga e più solida di osservazioni, e in ambito più calmo di discussione. Di alcune di queste,

Emanuele Kant.

attinenti alla Fisica terrestre, avremo occasione di toccare nei capitoli speciali; per ora ci basti ricordare i nomi degli italiani VALLISNIERI, MORO e ARDUINO, dei francesi BOULANGER e GUETTARD, degli inglesi MITCHELL e PACKE, dei tedeschi LEHMANN e FÜCHSEL, alcuni dimenticati, altri riconosciuti precursori delle teorie e dei metodi della Geologia moderna.

Buffon.

Al costituirsi di questa scienza, sulla fine del secolo scorso, devesi in parte il rinascere su nuove basi della Geografia fisica e della Fisica terrestre. Questa aveva anche, al principio del secolo nostro, il sussidio di una Scienza Fisica assai più ricca di dati e assai più organica nelle sue teorie. I genî di NEWTON, di HUYGHENS e di EULERO avevano esplorato con quel nuovo delicatissimo strumento del raziocinio, che è l'analisi infinitesimale, i principali problemi dell'ottica, dell'acustica e della meccanica dei solidi e dei fluidi, che il nostro LAGRANGE radunava in teoria completa e uniforme nella sua *Mécanique analitique* pubblicata nel 1788. Una nuova forza naturale si era rivelata, l' Elettricità, le cui manifestazioni misteriose si ricercavano in tutti i fenomeni della natura e della vita; la scoperta, fatta da FRANKLIN, dell'identità fra quello che il nostro BECCARIA chiamò *Elettricismo artificiale* e l'elettricità atmosferica che si manifesta nel lampo e nel fulmine, pareva avesse ridato all' uomo lo scettro di Giove. Intanto le vaste scoperte geografiche, geodetiche e climatologiche susseguitesi nel secolo, detto a ragione il Secolo dei viaggi scientifici, avevano reso assai più completa e organica, che non ai tempi di Varenio, la rappresentazione della terra, come ente fisico. Il risorgere di una Scienza della Terra si presenta quindi come naturale, nella seconda metà del Secolo scorso. Ma una singolare disposizione dello spirito filosofico di quell'epoca diede a questo rinnovamento un indirizzo affatto nuovo e sorprendente.

Il Secolo XVIII può anche chiamarsi, infatti, il Secolo del Dilettantismo scientifico. Non solo letterati e filosofi, ma cavalieri e dame s'interessano di Fisica e di Storia Naturale; VOLTAIRE in Francia e ALGAROTTI in Italia predicano alle signore il nuovo verbo newtoniano. EULERO nelle sue *Lettres à une princesse d'Allemagne* le discorre della teoria del sillogismo e delle due ipotesi, newtoniana e hugeniana, della luce. I confini tra la scienza, la filosofia e la letteratura si cancellano, confondendosi in una Enciclopedia scientifica, morale e sociale che si riassume nel nome generico di Filosofia;

Filosofia; ma è una filosofia che mette sempre a base lo studio della natura. Tale movimento risponde a una vera rivoluzione. In fondo ad esso sta una generale aspirazione verso la libertà di pensiero e d'azione, da troppo lungo tempo soffocata dal dogmatismo e dal dispotismo e che, pel momento, non trova altro sfogo se non nella contemplazione e nello studio delle così dette leggi della natura. Non è in altre parole un vero movimento scientifico, ma un movimento sociale; scientificamente molto superficiale e declamatorio, come ogni scienza che serva, coscienziosamente o meno, a propaganda. La Natura (personificazione, tra mistica e meccanica, dei fenomeni del mondo esteriore) è il nuovo Dio, colle cui leggi sacrosante sono in evidente contraddizione le leggi convenzionali della società; l'Uomo, cui tali leggi sono rivelate dalla Scienza, assume nella Natura un posto che è in troppo superba contraddizione con quello che alla maggior parte degli uomini è fatto dalle leggi sociali; la Terra, che è il suo regno, dev'essere studiata in tutte le sue manifestazioni naturali, come il corpo dell'umanità, indipendentemente dalle meschine divisioni artificiali fissate dalla storia e dalla politica.

Questa crisi, acutissima in Francia, fu assai meno sensibile in Inghilterra e in Italia; là, perchè le condizioni assai più libere di vita e di pensiero, stabilite senza grandi scosse fin dalla fine del secolo precedente, toglievano il movente passionale di siffatta agitazione filosofica; qua per minore maturità di coscienza individuale e nazionale e per minore e meno concorde impulso delle condizioni economiche e politiche, assai diverse da regione a regione; in ambedue i paesi per l'indole meno appassionata e più obbiettiva delle classi pensanti, meno facili delle francesi a lasciarsi guidare dalle idee generali. Non già per atonia di pensiero, come generalmente si afferma, specie dagli stranieri, poichè il paese che noverava, per citare soltanto i cultori di scienze naturali, idrologi come MANFREDI e GUGLIELMINI, fisici come BECCARIA, BOSCOVICH, FRISI e il sommo VOLTA, biologi come MORGAGNI, GALVANI e SPALLANZANI, meteorologi come TOALDO, non era certo alla coda del movimento intellettuale.

Il movimento ebbe un'eco ben più forte in Germania, sia per la diretta efficacia dei molti filosofi e scienziati francesi che Federico II aveva chiamato alla sua corte, sia per la maggiore oppressione dogmatica ivi dominante dopo Leibniz, sia finalmente per la natura eminentemente sistematica, coordinatrice, filosofica del genio tedesco. Il concetto di una sintesi filosofica di tutte le cognizioni umane, di una fusione di tutte le scienze e di tutte le arti come visioni diverse di una sola unità, la Natura, rispondevano troppo bene a tali esigenze logiche e morali dello spirito tedesco nel momento che, svegliandosi, come scrive Kant di sè stesso, dal suo sonno dogmatico, sentiva il bisogno di vivificarsi in un più intimo contatto col mondo reale. Naturalmente, tale evoluzione psicologica non poteva compiersi in Germania nelle stesse forme, violente e assolute, nelle quali si compiva in Francia. A ciò si opponeva la diversa indole dell' ingegno tedesco, che si affermava appunto allora nella potente critica delle cognizioni umane fatta da KANT. Questi infatti, mentre scopriva che ogni nozione della realtà ha la sua base nell'esperienza, e distruggeva quindi la barriera che divideva prima di lui la Filosofia dalle Scienze

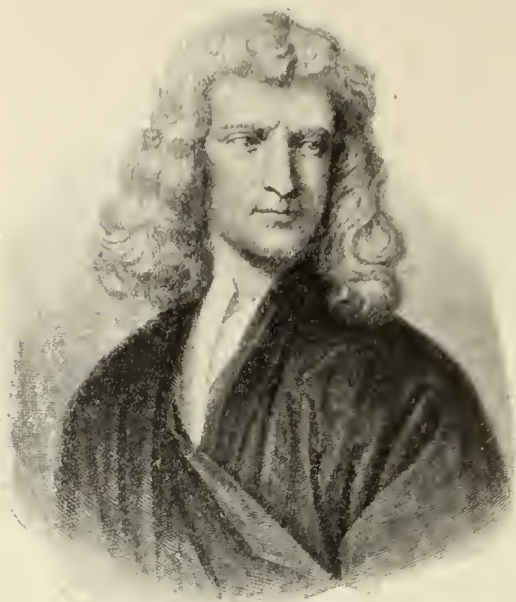
della Natura, nello stesso tempo sottoponeva a rigorosa critica i processi del nostro pensiero, dimostrando come esso non possa uscire dai limiti del fenomenico, del relativo, e ne frenava quindi gli ardimenti.

Anche in Germania sorse una generazione d'uomini universali che nessun ramo di scienza ritenevano inaccessibile, o non necessario alla completa manifestazione del proprio ingegno; per essi il pensiero era lo specchio della Natura, e ognuno doveva aprirsi quanto maggior orizzonte gli fosse possibile, perchè tanta maggior copia di luce affluisse a formare l'immagine della dea. GOETHE è il tipo gigantesco di questi uomini eccezionali, poichè a un sentimento artistico della natura, quale non ebbero forse nè i greci antichi, nè Dante, collegava una coltura e una fantasia scientifica quali ebbero pochi tra gli scienziati del secolo.

Attorno a lui, in Weimar e in Jena, si formò nell'ultimo decennio del secolo una vera corte intellettuale, i cui astri maggiori furono Schiller, Fichte, Schelling e i due fratelli HUMBOLDT. Il minore di questi, ALESSANDRO, ivi per la prima volta formava il progetto di una nuova *Fisica del mondo*.

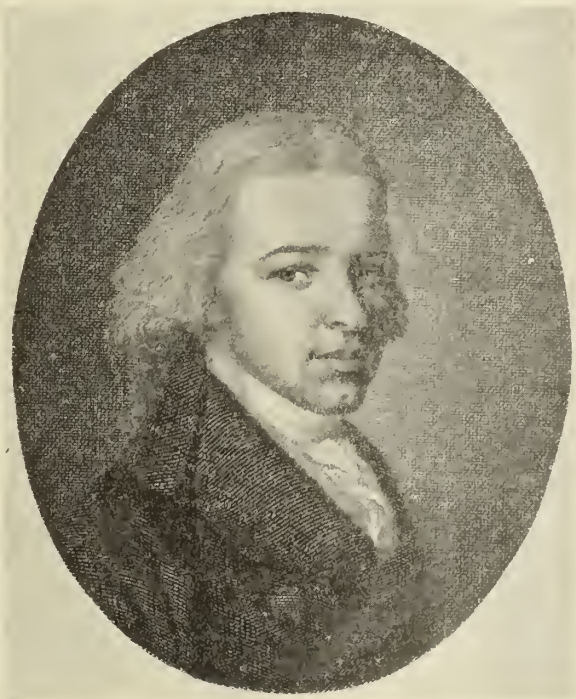
Goethe.

Il 24 gennaio 1896 ALESSANDRO VON HUMBOLDT scriveva a Pictet: «J'eus le bonheur de parcourir en mineur (in compagnia di Foster e di altri) une grande partie des montagnes de l'Europe; j'étudiai la nature sous les points de vue les plus différents; *je conçus l'idée d'une physique du monde,* mais plus j'en sentis le besoin et plus je vis que peu de fondements sont encore jétés pour un aussi vaste édifice. Quelque mérite qu' il y ait á réduire des expériences connues à des lois générales, à établir l' harmonie parmi les phénomènes, qui, au premier coup d'oeil, paraissent incompatibles, je me bornerai cependant à vous communiquer les faits qui ont échappé jusqu'ici aux naturalistes. Car de tout ce que la physique nous présente, il n' y de stable et certain que les faits. Les théories, enfants de l' opinion, sont variables comme elle. Ce sont les météores du monde moral, rarement bienfaisantes, et plus souvent nuisibles aux progrés intellectuels de l' humanité ».

In queste linee noi vediamo la giovanile baldanza di un uomo geniale, che, nell'entusiasmo di sentirsi sollevato, dalla propria immensa dottrina in tutte le scienze naturali, ad un punto da cui può abbracciare più vasto orizzonte, crede di essere uscito dall' atmosfera filosofica ingombrante il basso mondo. È come un uomo in pallone che non s' avvede d' essere sostenuto dall'aria. Invece nessuno più di lui, per la stessa molteplicità del suo ingegno e della sua dottrina, ma sopratutto per quel bisogno, ch'egli confessa, di cer-

Isacco Newton.

care l'armonia nei fenomeni e di costituire a scienza speciale, colla visione remota, finora inafferrabile, di un principio unificatore, tutte le nozioni sul mondo esteriore, rappresentava la tendenza filosofica del suo tempo. « L'Idea è *architettonica;* essa crea le scienze » aveva detto Kant appunto nelle sue Lezioni sulla Geografia fisica, ed Humboldt era cresciuto Kantiano; era cioè un ingegno non solo eminentemente critico ma anche sistematico. Egli aveva inoltre respirato l'atmosfera trascendentale della scuola filosofica di Jena, rappresentata prima da Fichte e poi da Schelling, ed era vissuto parecchi anni in intima comunione di pensiero con quel potente animatore della natura che era Goethe. Tutta l'opera scientifica di HUMBOLDT, e quindi possiamo dire l'indirizzo della Fisica cosmica in tutta la prima metà del Secolo XIX, sono dominati da queste due tendenze filosofiche, la critica e l'idealistica, e sono animati da entusiasmo lirico, eco di quel periodo eroico della Filosofia naturale e della Estetica naturale. Ancora nel *Cosmos,* che coronò così luminosamente nel 1845 settantasei anni di pensiero e di lavoro scientifico, noi troviamo il contrasto di quelle due tendenze, e quel calore di esposizione, quello sforzo di fare opera non solo di scienza, ma d'arte, che fa sorridere i troppo cauti, troppo empirici studiosi di questa fine di secolo. In un libro moderno di Fisica terrestre farebbero meraviglia accenni come il seguente: « il mondo esterno si confonde, quasi a nostra insaputa, colle nostre idee e coi nostri sentimenti » dove fa capolino l'idealismo di Schelling; o quest'altro « il mondo *obbiettivo*, pensato da noi, riflesso in noi è soggetto alle forme eterne e necessarie del nostro essere intellettuale » dove fa capolino il criticismo di Kant; o finalmente quest'altro: « Possa l'infinita varietà degli elementi di cui si compone il quadro della natura non diminuire quell'impressione armoniosa di calma e di unità, scopo finale di qualsiasi opera letteraria o puramente artistica! » dove fa capolino l'estetica di Goethe. Ma maraviglia ancor maggiore farebbe l'ardire di fondere in un'esposizione sintetica tutto il mondo dei fenomeni, non soltanto quale si riflette attualmente nella coscienza scientifica dei dotti, ma quale si svolse nella intuizione spesso incosciente delle varie razze nelle diverse epoche dell'umanità. Questo è infatti il piano del *Cosmos,* che sotto molti punti di vista si può paragonare alla *Divina Commedia,* poichè, come questa, non soltanto riassume tutta la scienza cosmologica del suo tempo e dei tempi anteriori, ma riflette su di essa lo spirito rinnovatore di una nuova filosofia, e lo spirito informatore di una nuova estetica.

Ma ancor più evidente appare l'influenza del movimento filosofico tedesco al principio del secolo, e particolarmente della filosofia naturale di Schelling,

nell'opera di un altro grande creatore della Geografia moderna, di Carlo Ritter. Seguace di Humboldt, professore fin dal principio del secolo alla università di Berlino, egli vi insegnò per 39 anni, creando una scuola geografica che irradiò le sue dottrine su quasi tutte le università d'Europa e d'America, e che si afferma ancora adesso nella parte che è fatta alla Geografia nell'insegnamento universitario. Egli studiò la terra in rapporto all'uomo, la natura in rapporto alla storia dell'umanità, cercando nella struttura e nella distribuzione degli elementi geografici la ragione dei grandi mutamenti delle masse umane. In ciò egli era guidato palesemente, e consciamente, dalle *Idee sulla Filosofia della Storia della Umanità* di Herder (1784), ma dominato dal concetto filosofico di Schelling. Scopo ultimo della natura, secondo Schelling, è di diventare cosciente di sè stessa nell'uomo; essa deve quindi considerarsi come un sistema di processi rivolti alla produzione dell'intelligenza, come un grande organismo la cui anima è l'uomo. Quest'anima è però tanto più cosciente e matura nelle varie parti di quest'organismo quanto più favorevoli al suo sviluppo sono state in passato e sono al presente le condizioni di struttura, di posizione e di ambiente fisico delle parti stesse. Come parti distinte dell'organismo terrestre Ritter considera i varii continenti, che diventano perciò, secondo tale concezione esclusivamente antropomorfa della natura, come individui vivi, aventi ciascuno un tipo organico proprio, destinato perciò a speciali funzioni naturali e intellettuali, che si manifestano nei diversi destini dei popoli che li abitano. Egli spiega quindi il diverso grado di sviluppo delle varie razze e dei varî popoli colle condizioni fisiche e geografiche delle regioni dove si svolse la loro storia. In particolare spiega la diversa funzione storica dell'Africa, dell'Asia e dell' Europa per il passato, e dell'America per l'avvenire, colla struttura orizzontale e verticale di questi continenti, colla maggiore o minore complessità della loro membratura, che nell' Europa si snoda in forme snelle e quasi articolate, mentre nell' Africa conserva la compattezza inerte di un corpo senz' arti. Non è il caso di svolgere a lungo la teoria, che Ritter seppe rafforzare con una erudizione così sconfinata non solo nel campo della geografia, ma della storia e della letteratura antica e moderna, da non giungere nemmeno a condurne a termine l'esposizione nei 21 grossi volumi della sua opera monumentale *Geografia in rapporto alla natura e alla storia dell'uomo, ossia Geografia generale comparata.*

A. Humboldt giovane.

(Berlin 1822-49). Certo la Geografia deve riconoscerlo come un vero rinnovatore, perchè da semplice enumerazione e nomenclatura di forme e di fatti terrestri fu elevata da lui a dignità di dottrina comparativa, e animata da un elemento umano, etnografico, storico e commerciale. Ma essa assunse per opera sua piuttosto il carattere di dottrina storica, che non di scienza naturale, carattere che conserva tuttora, non senza danno proprio e delle altre scienze naturali, negli ordinamenti universitarî della maggior parte delle nazioni civili. Ma particolarmente perniciosa fu la tendenza teleologica da lui inaugurata nello studio delle forme terrestri, tendenza che da' suoi seguaci fu portata talora a un estremo perfino ridicolo, poichè si pretese di trovare uno scopo, naturale o provvidenziale, nei dettagli affatto accidentali di posizione, di contorno e di struttura delle terre e nelle loro frequenti analogie, che assaî spesso dobbiamo considerare non meno accidentali, quando non sono fantastiche. Il più entusiasta de' suoi allievi fu Arnold Guyot, di Neuchâtel, che si fece propagatore delle teorie Ritteriane negli Stati Uniti. L'opera sua, la *Terra e l'Uomo*, che, ancora nel 1888, ebbe l'onore di una edizione francese, (*Géographie physique*. Paris, Hachette) presentata da Vivien de Saint-Martin, rappresenta forse l'espressione più entusiasta delle idee del Maestro, e l'ultima eco di quel movimento filosofico-naturalistico, iniziato fin dal secolo scorso e che, per le mutate condizioni d'ambiente, è andato assumendo carattere mistico.

Lateralmente a questo movimento, che chiamerò morale, della Geografia fisica, si era delineato tuttavia lungo il secolo un nuovo movimento, affatto indipendente da qualsiasi concetto filosofico, nello studio delle forme e dei fenomeni fisici della Terra. Già Humboldt, che pur non rifuggiva, come s'è visto, dalle vaste generalizzazioni, e non escludeva nemmeno la possibilita di ridurre all'unità di un principio razionale tutti i fenomeni della natura, si lagnava che i sistemi allora dominanti della filosofia della natura avessero allontanato gli spiriti, in Germania, dai gravi studi delle scienze matematiche e fisiche e si ribellava a quei *saturnali di una scienza puramente ideale della natura*.

Nella scuola stessa di Ritter sorse Oskar Peschel tra il 1854 e il 1875 a combattere l'indirizzo teleologico, umano, della Geografia Ritteriana. Il Peschel era però traviato anch'egli da un preconcetto sistematico, e non aveva altri metodi e strumenti di studio, oltre quelli ricevuti dal maestro. Egli credeva di poter costituire una *vera Geografia comparata* sulle stesse basi sulle quali Cuvier aveva fondato un' Anatomia comparata e Bopp una Glottologia comparata; cercando cioè di dedurre la genesi e le leggi di sviluppo delle forme geografiche dal solo confronto delle forme stesse, dalle loro analogie. Ma mentre l'Anatomia e la Glottologia possono sviscerare il loro oggetto penetrando nella sua intima costituzione, il Peschel doveva limitarsi alla forma puramente esteriore, quale è rappresentata dal disegno cartografico. « Non è il caso, egli scrive, che ha costituito le forme delle terre; al contrario ogni più piccolo tratto nei contorni o nel rilievo, ogni sporgenza laterale o verticale della superficie terrestre, ha *un certo segreto significato*, che noi dobbiamo cercar di scoprire. La via a ciò ne è data soltanto dalla ricerca delle analogie della natura, *quali ci sono rivelate dalla carta geografica* ». Il

movimento iniziato da Peschel si può quindi considerare una continuazione del movimento Ritteriano, per quanto apparentemente in contraddizione con esso. Esso ha una grande importanza per la storia della Geografia, alla quale diede un indirizzo più obbiettivo, non per quello della Fisica terrestre.

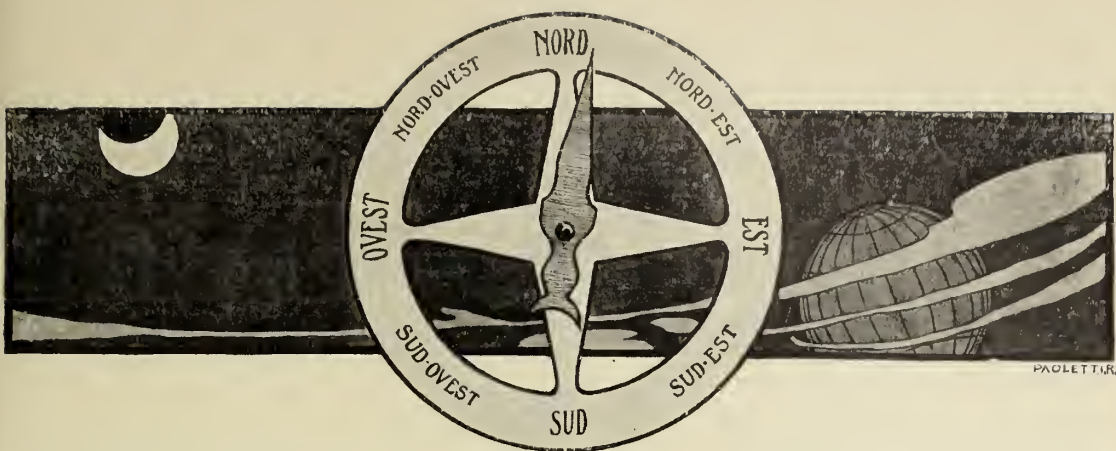
I progressi della Fisica terrestre con e dopo Humboldt consistono quasi interamente nei progressi della Fisica e della Geologia. Nel campo della Fisica la teoria di Fourier sulla propagazione del calore per conduttività e le scoperte di Melloni sulla propagazione del calore per radiazione; le nuove teorie e scoperte di Fresnel, Biot, Arago, e altri nell'ottica e le applicazioni dello spettroscopio; i principii della teoria meccanica del calore rivelati da Thomson e Clausius; il costituirsi di una scienza dell'elettricità e del magnetismo inaugurata da Volta, da Faraday e da Gauss; i progressi della dinamica dei fluidi e dei solidi, trovarono immediate applicazioni ai fenomeni della distribuzione del calore nella terra, nel mare e nell'atmosfera, alle meteore luminose, al magnetismo terrestre, alle correnti aeree e marine e all' idrografia terrestre. I fisici, specialmente nella prima metà del secolo, non limitavano le ricerche tra le mura dei loro gabinetti, ma guardavano anche fuori dalla finestra, e non perdevano di vista il problema fondamentale dello spirito umano, la spiegazione dei fenomeni del mondo esterno. Nei vecchi trattati di fisica, e basti citare quelli di Pouillet e Poisson in Francia, di Belli e Mossotti in Italia, il grande Dizionario di fisica del Gehler in Germania, era fatta assai più larga parte che nei recenti alla Fisica terrestre e in particolar modo alla Meteorologia.

Carlo Ritter.

Nel campo della Geologia, il nuovo indirizzo aperto da Lyell, che si propose di spiegare i fenomeni del passato geologico coll'azione prolungata delle cause attuali operanti sulla superficie della terra, diede nuovo impulso allo studio di queste cause, cioè delle condizioni fisiche che determinano e modificano incessantemente le forme esteriori del nostro pianeta. Con ciò una larga regione della Fisica terrestre entrò nel dominio della Geologia, e sotto il nome di Dinamica terrestre fu disciplinata sotto questo insegnamento.

Questo smembramento della Scienza della Terra fra discipline finora così distinte per metodi e strumenti, quali sono la Fisica e la Geologia, le tolse però quell'unità di concezione che era l'ideale di Humboldt e che risponde al bisogno del nostro spirito di considerare il mondo che ne circonda come un tutto coordinato, indipendentemente dalle distinzioni artificiali imposte ai nostri studi dal principio della divisione del lavoro.

Scienza della Terra dovrebbe essere per noi quella che tenta di ridurre a principî fisici e matematici tutto quanto si conosce dei fenomeni e delle forme che si osservano sul nostro pianeta e che costituiscono il fondamento della nostra esperienza del mondo esteriore e, poichè il presente si collega per necessità causale al passato, anche dei fenomeni e delle forme che si svolsero nelle precedenti ere geologiche. Essa deve appoggiarsi quindi ad altre scienze che si occupano della Terra sotto punti di vista più parziali, quali l'Astronomia, la Geodesia, la Geologia e la Geografia, ma non dovrebbe essere assorbita da nessuna di queste, conservando la sua ragione di essere, come scienza a sè, non soltanto nello scopo filosofico di darci una rappresentazione scientifica complessiva della nostra casa, cioè dell'ambiente in cui viviamo, ma anche nel metodo di osservare e collegare i fatti. Questo metodo è prevalentemente quello delle Scienze fisiche, e perciò essa è giustamente chiamata *Fisica terrestre;* metodo che deve però adattarsi nel caso nostro alla vastità e complessità dell' oggetto che si studia, lasciando all' induzione più largo campo che non sia permesso nelle ricerche rigorose di gabinetto, dove il fisico può predisporre tutte le condizioni dell' esperienza. Essa deve inoltre, per mantenersi nel metodo fisico, che è il suo fondamento razionale, rinunciare, almeno per ora, all' ideale Humboldtiano di ricondurre agli stessi principii anche i fenomeni della vita organica, ancora troppo oscuri pel metodo stesso, e che richiedono altri processi, non meno fecondi, ma meno sicuri, di osservazione e di induzione. Siffatto ideale rispondeva, come si è visto, a un movimento giovanile del pensiero scientifico e filosofico alla fine del secolo scorso e al principio dell'attuale; il secolo invecchiando ha dovuto rinunciarvi.

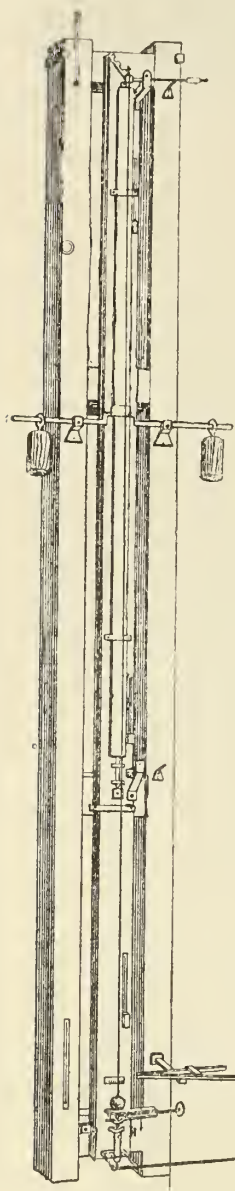
Questa definizione e limitazione della *Fisica terrestre* non è ancora generalmente compresa e perciò non è ancora ben definita per molti la distinzione fra essa e la *Geografia fisica,* che pur ha lo scopo più strettamente geografico di spiegare la morfologia attuale della superficie terrestre, e la *Geologia dinamica,* il cui oggetto è di spiegare il formarsi e il deformarsi dei depositi geologici. Noi ci atterremo nella nostra rapida scorsa dei progressi della Fisica terrestre del Secolo XIX alla definizione che ne abbiamo data e che risponde, nonostante le limitazioni indicate, al concetto che la fece rinascere nella mente di Humboldt nei primi anni del Secolo stesso.

I.

GRAVITÀ, FORMA E COSTITUZIONE DELLA TERRA

La Teoria della Forma della Terra è l'oggetto della *Geodesia*, ma interessa anche la Fisica terrestre, non solo perchè questa deve conoscere anzitutto la forma esatta dell'oggetto di cui ricerca le proprietà fisiche, ma anche perchè alcuni degli strumenti fondamentali di quello studio hanno applicazioni in ricerche della nostra materia.

Già gli studî teorici e le misure astronomiche e di gravità del Secolo XVIII avevano messo in sodo che la forma della Terra non è sferica, ma s'avvicina con grande approssimazione alla forma di un'ellissoide di rivoluzione, ossia di una sfera leggermente schiacciata ai poli in guisa che ogni sezione passante per l'asse di rotazione non sia un circolo, ma una ellisse, il cui asse minore sia però pochissimo diverso dall'asse maggiore. Ma LAPLACE aveva anche dimostrato nel 1.° volume della sua Meccanica Celeste (Parigi 1799) che questa superficie matematica non rispondeva esattamente alla forma reale della Terra, quale risultava dalle osservazioni geodetiche e di gravità; non già per insufficienza di queste osservazioni, ma per le irregolarità reali del corpo terrestre, che in alcuni punti sovrasta, in altri sottostà, alla superficie ellissoidica determinata col sistema delle osservazioni stesse.

Secondo i suoi calcoli delle perturbazioni che l'ellisoide terrestre produce nei movimenti della Luna, questo ellissoide ideale corrispondeva a uno schiacciamento polare del globo terrestre per $^1/_{300}$ del suo asse. Le prime misure raccolte e rigorosamente discusse al principio del secolo da WALBECK, e poi con una lunga serie di lavori dai sommi astronomi GAUSS e BESSEL in Germania e da AIRY in Inghilterra, portarono a uno schiacciamento assai poco diverso, di $^1/_{299}$; ma le misure geodetiche posteriori condussero a risultati sensibilmente discordi, talchè molti credettero di dover scartare l'ipotesi

dell'ellissoide di rotazione e di poter ridurre la Terra ad altri tipi di superficie, anche non di rotazione. Tuttavia il moltiplicarsi delle misure, specialmente di quelle di gravità, che, a differenza delle misure geodetiche necessariamente limitate a soli continenti, si poterono eseguire anche nelle isole in alto oceano, hanno ormai confermato generalmente la convinzione che l'ellissoide di rotazione sia una rappresentazione abbastanza approssimata della superficie della terra. Queste misure, raccolte prima con metodi e con istrumenti non sempre paragonabili fra di loro, sono in questi ultimi decennî coordinate in un sistema rigoroso di collaborazione internazionale, che mette capo all'Ufficio geodetico internazionale residente a Berlino, e alla Conferenza internazionale dei delegati delle varie nazioni che si raduna con varia sede ogni tre anni. È questo il primo esempio di una collaborazione ufficiale dei varî stati a uno scopo scientifico. I risultati finora ottenuti non permettono di fissare nemmeno in linee generali la forma precisa della superficie terrestre, che è quella di un ellissoide leggermente deformato secondo alcuni a trottola colla punta verso il polo antartico, secondo altri a patata; ma autorizzano a concludere, secondo HELMERT, che le deviazioni, positive o negative, dalla forma ellissoidica non superano in nessun punto i 200 metri.

Pendolo di Bessel.

Importa però aver presente che per superficie terrestre non si intende già la superficie reale con tutte le sue irregolarità continentali di monti e valli, di altopiani e bassopiani; ma bensì una superficie ideale che sia in ogni punto *orizzontale*, cioè normale alla direzione della gravità data dal filo a piombo. Nelle aree oceaniche questa superficie è data dalla superficie stessa delle acque, quando si prescinda dal moto ondoso, dagli spostamenti periodici delle maree, e dai dislivelli prodotti dalle correnti aeree e dalla distribuzione non uniforme della pressione barometrica. Nelle aree continentali la gravità dipende anche dal rilievo geografico, poichè ogni massa montuosa esercita un'attrazione propria sul filo a piombo, che devia verso di essa. Anche la superficie orizzontale ne viene quindi deviata, assecondando generalmente con rilievi e avvallamenti i rilievi e gli avvallamenti della superficie vera. Ma, per ragioni che ora vedremo, queste ondulazioni della superficie orizzontale sono immensamente meno accentuate delle ondulazioni reali del terreno. La presenza delle grandi masse continentali deve esercitare anch'essa un'attrazione sulla massa liquida degli oceani, che deve perciò in prossimità della terra mantenersi più sollevata che in alto mare; si riteneva infatti fino a pochi anni fa, e si ritiene ancora da molti, che il dislivello oceanico fra le rive e il mezzo dei grandi oceani raggiunga perfino i mille metri. Invece anche qua si verifica che l'azione attrattiva delle grandi

masse continentali che si elevano dal fondo del mare è assai minore di quella che risponderebbe alla loro massa apparente. Bisogna quindi ammettere che in un caso e nell' altro l'attrazione esterna sia in gran parte compensata da un'azione opposta che attrae il filo a piombo verso il mare.

La forza di gravità dipende infatti non soltanto dalla distribuzione superficiale delle masse terrestri, ma anche dalla distribuzione delle masse sotterranee. Ora pare che questa distribuzione sotterranea compensi in gran parte la distribuzione esterna, che cioè, dove la superficie si presenta rilevata, gli strati sottostanti siano meno densi o meno compatti, e dove la superficie appare incavata, nelle grandi cavità oceaniche, gli strati sottostanti siano più densi o più compatti. Questo fatto era stato intraveduto fin dal 1849 da Petit, che affermò davanti all'Accademia di Parigi la probabilità che esista un vuoto sotto la catena dei Pirenei.

Pendolo di Pisati e Pucci.

Tale conclusione si fonda, come s'è detto, sulle osservazioni dirette della deviazione del filo a piombo, e sulle misure di gravità fatte col pendolo. L'importanza di questo strumento come mezzo di ricerca geodetica e geologica si affermò specialmente in quest'ultimo decennio per l'invenzione di apparati facilmente trasportabili, di pronta osservazione e pur rigorosi, quali il pendolo ideato dal maggiore austriaco V. Sterneck, e il pendolo a inversione del generale francese Defforges. Il confronto tra le accelerazioni di gravità in paesi diversi non poteva farsi prima se non mediante determinazioni rigorose della durata delle oscillazioni di un pendolo in ciascuna stazione; ma queste determinazioni richiedevano una tale delicatezza di osservazioni e un così intricato complesso di correzioni matematiche, per valutare la resistenza dell' aria, gli effetti delle variazioni di temperatura, le varia-

Pendolo di Sterneck. Cannocchiale e scala d'osservazione.

zioni elastiche del pendolo, le oscillazioni dei sostegni, gli attriti e così via, che solo in istituti forniti di mezzi potenti era possibile raggiungere una sufficiente approssimazione. Basterà citare il classico lavoro di Bessel (1828), e venendo ai tempi più vicini, il lavoro triennale di Pisati e Pucci (1881-83) per determinare la gravità a Roma, a dare un'idea della complessità dei problemi fisici e meccanici che si connettono a queste determinazioni. Si comprende quindi come le determinazioni di gravità per mezzo del pendolo fisso fossero limitate a un numero relativamente ristretto di punti. Coll'invenzione dei nuovi apparati trasportabili, le misure poterono moltiplicarsi rapidamente, talchè mentre fino al 1891 non se ne contavano, a cominciare dalle più antiche del Secolo XVII, che circa 400, alla fine del 1894 erano già salite a 860, e nel solo 1895 se ne fecero oltre un centinaio.

Il principio su cui si basa il pendolo di Sterneck, al quale si devono specialmente queste nuove osservazioni, è il seguente. Determinato il numero delle oscillazioni che un dato pendolo dà in un numero intero di secondi in una stazione principale, dove la gravità è determinata con tutto il rigore possibile, cioè coi più squisiti mezzi e colla più completa discussione matematica, si determina il numero delle oscillazioni che lo stesso pendolo dà in un numero intero di secondi in un'altra stazione. Il pendolo per essere facilmente trasportabile è di lunghezza non molto grande; il sostegno entro il quale oscilla è un treppiede a due basi circolari e tutto in un pezzo solo di ghisa; la forma della lente del pendolo è quella di due tronchi di cono accostati per la base maggiore, perchè permette di determinare più facilmente l'attrito dell'aria e gli elementi matematici per il calcolo. All'estremità superiore del pendolo al di sopra del coltello, che oscilla su un piano d'agata, è applicato uno specchietto che, oscillando col pendolo, permette di seguirne le oscillazioni su una scala verticale tracciata su una parete della cassetta collocata a qualche distanza, scala che si riflette nello specchietto stesso e che è osservata col cannocchiale sovrapposto alla cassetta. Lungo lo zero della scala è

Pendolo di Sterneck.
Apparecchio oscillatore a secondi.

aperta una fessura attraverso la quale esce ad ogni secondo un fascio di luce. Il passaggio e le interruzioni della luce sono determinate da battiti di un cronometro rigoroso, che chiudendo e aprendo il circuito di un' elettrocalamita fa movere una leva chè chiude ed apre il passaggio alla luce. Quando il pendolo è fermo si vede quindi ad ogni secondo una linea luminosa in corrispondenza allo zero della scala, e che si può far coincidere col filo orizzontale dell'oculare del cannocchiale; quando il pendolo oscilla, questa linea luminosa riflessa nello specchio oscillante si vede invece ora più in alto ora più in basso e soltanto quando il pendolo abbia fatto un numero intero di oscillazioni, in un numero intero di secondi, e che perciò lo specchietto sia verticale al momento del passaggio del fascio di luce, si vedrà la linea luminosa ancora coincidente col filo orizzontale del cannocchiale.

Pendolo di Sterneck. Veduta d'insieme.

Dal numero di oscillazioni compiute dal pendolo nell'intervallo si determina la durata di una oscillazione, e dal confronto di questa con quella determinata nella stazione d'origine si determina il rapporto fra la g nota di questa e la g della nuova stazione.

Ho creduto necessario insistere nella descrizione di questo ingegnosissimo apparecchio, perchè da esso si attende ora il più rapido progresso delle nostre conoscenze intorno alla distribuzione della gravità sui continenti, e quindi delle nostre induzioni sulla forma della terra e sulla distribuzione delle masse sotterranee.

Quanto al primo punto il principio teorico su cui si basa la nostra induzione è dovuta a un illustre matematico del secolo scorso, a CLAIRAUT. Questi nella sua *Théorie de la Terre* (1758) dimostrò che, data la forma ellissoidica della terra e date certe ipotesi sulla distribuzione interna della densità (ipotesi che furono allargate nel secolo nostro da STOKES e da PIZZETTI), la gravità

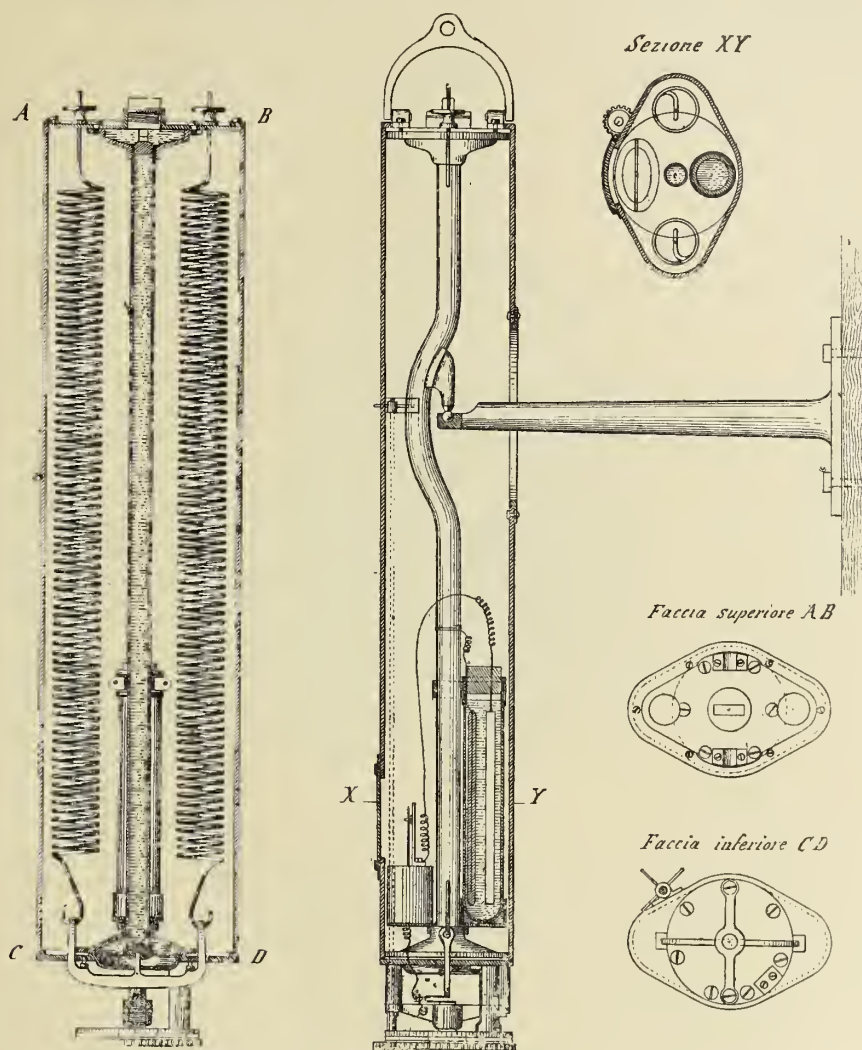
dovrebbe crescere dall'equatore ai poli secondo una formula determinata. Le osservazioni finora raccolte sui continenti non rispondono esattamente a questa formola, sia perchè la superficie del geoide si scosta alquanto (non oltre 200 m., come già si è detto) dalla forma ellissoidica, sia perchè la distribuzione interna delle masse non risponde alle ipotesi su cui è fondata la formola di Clairaut, ma presenta delle irregolarità locali. Queste però, come già si è detto, in gran parte compensano quelle che sarebbero prodotte dalle irregolarità della superficie reale della terra.

Qui si tocca adunque al secondo dei punti accennati sopra, pel quale il pendolo assume anche importanza di strumento geologico. È tale infatti la nostra ignoranza della costituzione interna del nostro pianeta, e sui rapporti che essa ha colla forma esterna del rilievo superficiale, che questa scoperta di una approssimativa compensazione fra i rilievi o le cavità superficiali e le anomalie negative o positive della densità sotterranea può considerarsi come un primo fascio di luce gettato sulla costituzione interna e sul meccanismo del corrugamento superficiale della terra. Non è qui il caso di esporre le varie teorie recentemente avanzate a spiegare tale compensazione; noi dobbiamo considerare questo problema, come il problema della forma del geoide, quali legati che lasciamo al secolo futuro.

Per la loro risoluzione completa sarebbe anzitutto necessario trovar modo di determinare la gravità in aperto oceano, perchè il pendolo non può servire che sui continenti e sulle isole. A tale scopo furono ideati verso il 1880 alcuni apparecchi quali il *Batometro* di Guglielmo Siemens e i *gas-volumetri* di Mascart e di Issel. Ambedue questi tipi di strumenti determinano lo spostamento, per effetto delle variazioni di gravità, di una data colonna di mercurio sostenuta nel batometro da una lamina elastica, nel gas-volumetro da una data massa di gas mantenuta, in un vaso chiuso, a temperatura invariabile. I piccolissimi spostamenti della colonna di mercurio vengono o misurati direttamente con una vite micrometrica, o messi in evidenza, perchè ingranditi, da un piccolo indice liquido mobile in un tubo capillare comunicante colla colonna stessa. Dallo spostamento dell'indice si determina con calcoli facili la variazione di gravità che ne è la causa. Siffatti strumenti non hanno però ricevuto finora applicazione pratica, certamente perchè le molteplici cause di errore non si possono valutare al loro giusto valore in misure così minuziose e delicate.

Non è esclusa nemmeno la possibilità che la gravità di un luogo non sia perfettamente costante. Alcune esperienze di Mascart (1893) con un *gas-volumetro* gigantesco, nel quale il peso d'una colonna di mercurio, lunga 4 metri e mezzo e sepolta fino all'estremità sotterra, faceva equilibrio alla tensione di una massa d'idrogeno, avrebbero rivelato oscillazioni diurne che, fatte le debite correzioni di temperatura, non potevano attribuirsi se non a variazioni di gravità. E certamente altre variazioni periodiche e non periodiche sono non meno probabili.

Anche la direzione del filo a piombo in un dato punto del geoide non è fissa, ma oscilla continuamente intorno a una direzione media. È merito

specialmente degli italiani Padre PARNISETTI, Padre T. BERTELLI e M. S. DE ROSSI di aver assodato ciò che fin dal Secolo XVII era sostenuto da parecchi, ma controverso da molti, che cioè un pendolo apparentemente in quiete è dotato invece di movimenti continui, alcuni regolari, altri irregolari. I principali strumenti ora in uso per lo studio dei terremoti sono basati sulla misura degli spostamenti di pendoli verticali, e, quando siano abbastanza delicati,

Il barometro di Siemens visto di fronte. Lo stesso, visto di fianco.

rivelano anche i piccoli movimenti (*moti microsismici*) da cui è continuamente agitata la crosta terrestre. Queste variazioni nella intensità e direzione della gravità, delle quali soltanto in questi ultimi tempi si comincia ad avere qualche barlume, potrebbero spiegarsi alcune come effetto di azioni esterne alla terra, quali le attrazioni della luna e del sole, variabili colla posizione dei due astri; altri come effetto di spostamenti superficiali di materia quale il movimento semidiurno delle maree; altre infine come effetto di spostamenti di materia che avvengono nell'interno della terra.

Gli strumenti che meglio servono a rivelare ogni più piccola variazione

della direzione e forza di gravità sono di due sorta, il pendolo bifilare e il pendolo orizzontale.

Il pendolo bifilare è fondato sul principio che, se un corpo è sospeso per due punti vicinissimi l'uno all'altro, uno spostamento anche impercettibile di uno di questi due punti basta a deviare il corpo di un angolo sensibile. Non è qui il caso di esporre le varie disposizioni immaginate. La figura rappresenta quella ideata dai fratelli Giorgio e Orazio Darwin, figli del grande naturalista. La massa B è sospesa per un punto con due fili divergenti, in modo che non può oscillare che in un dato piano. Al di sotto del pendolo si stacca un filo sottilissimo che abbraccia e sostiene uno specchietto D, ed è fissato poi in un punto assai vicino a quello in cui si distacca dal pendolo. Ogni più piccola deviazione del pendolo nel suo piano provoca una deviazione notevole nello specchietto e può quindi essere osservata seguendo le oscillazioni di un raggio di luce riflesso dallo specchietto stesso.

La sensibilità dello strumento era tale che bastava una leggiera pressione con una mano sul pavimento della camera terrena, dove era levato un mattone, o soltanto l'appoggiare il proprio corpo ora su una gamba ora sull'altra per provocare sensibili spostamenti nello specchio.

Padre T. Bertelli.

Il pendolo orizzontale è basato sul principio delle oscillazioni di un corpo sostenuto da due cardini. Se un'imposta è sostenuta da due cardini situati esattamente sulla stessa verticale, essa sta in equilibrio in qualunque posizione la si metta; ma se il cardine superiore è spostato, anche di pochissimo, dalla verticale passante per il cardine inferiore, l'imposta non ha che una posizione sola di equilibrio, quella del piano verticale passante per i due cardini. Imaginiamo che, quando l'imposta è in equilibrio venga spostato anche leggerissimamente uno dei cardini; l'imposta rivelerà lo spostamento con uno spostamento visibilissimo.

Uno strumento basato su questo principio era stato descritto e applicato fin dal 1817 da Gruithuisen e poi nel 1832 dal suo allievo Lorenzo Hengler che riuscì a verificare con esso l'effetto dell'attrazione della luna, il cui periodo diurno era seguito dal pendolo con una oscillazione da est ad ovest e viceversa. Zöllner, il celebre astronomo-fisico e spiritista, gli diede una disposizione affatto diversa mantenendo orizzontale il pendolo A fra due anelli posti all'estremità di due molle d'orologio.

Nel pendolo orizzontale, secondo la disposizione recentemente adottata da Rebeur-Paschwitz, l'imposta è rappresentata da una leggiera asta d'ottone foggiata a triangolo isoscele; i cardini sono due punte di acciaio che si stac-

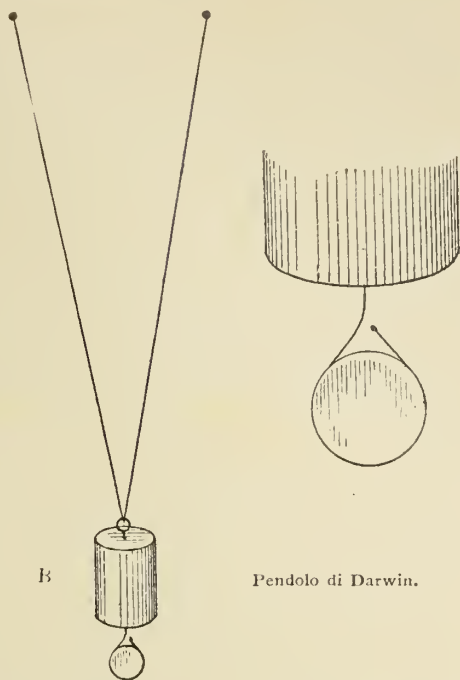
cano dagli estremi della base e che si appoggiano su due piastre di agata leggiermente incavate. Quando la retta che unisce le due punte è perfettamente verticale, il triangolo rimane in equilibrio in qualunque piano verticale; ma ogni più piccola deviazione di quella retta, cioè della direzione del filo a piombo, è rivelata da un sensibile spostamento dell'apparecchio, spostamento che viene moltiplicato all'osservazione mediante uno specchietto di Poggendorff. La figura dà un' idea evidente dello strumento, e del modo di collocarlo e regolarlo: lo specchietto applicato dietro il triangolo, è osservato attraverso l'apertura che si vede nella parte posteriore dell' apparecchio.

Pendolo di Darwin.

Molti dei piccoli movimenti che questi strumenti delicatissimi rivelano nella crosta terrestre sono evidentemente dovuti a perturbazioni locali; altri ai fenomeni meteorici e specialmente alle variazioni di pressione barometrica; altri a terremoti lontani, la cui vibrazione si propaga attraverso tutta la massa della terra fino alle più grandi distanze. Ma le osservazioni ulteriori dovranno dirci se queste modificazioni passeggiere del geoide non si intreccino intorno a una modificazione permanente e progressiva, che rappresenti una continua deformazione del geoide stesso e una corrispondente continua variazione della gravità.

Anche nelle loro manifestazioni passeggiere queste osservazioni ci permettono però alcune induzioni plausibili sulla costituzione intima del nostro globo.

La teoria cosmogonica di Laplace, secondo la quale tutti i corpi del sistema planetario sono formati dal condensamento di una primitiva unica nebulosa, aveva dato forza alla convinzione fin' allora assai contrastata che la massa dei pianeti, e in particolare della Terra, fosse nella massima parte ancora allo stato fluido. Si riteneva cioè che la nebulosa siasi condensata prima in masse liquide, le quali si formarono successivamente una crosta o pellicola superficiale, dov'è maggiore il raffreddamento per irradiazione nello spazio, ma conservandosi però ancora liquide nell'interno. Questo concetto pareva confermato in modo incontrovertibile dalla temperatura crescente del sottosuolo e dai fenomeni vulcanici, particolarmente dall' emissione di lava.

L'aumento di temperatura colla profondità era messo in dubbio al principio di questo secolo. Dacchè Lahire aveva scoperta la costanza della temperatura nei sotterranei dell'Osservatorio di Parigi, si riteneva da molti che tale costanza si mantenesse a tutte le profondità, finchè Arago nel 1821 richiamò l' attenzione sulle temperature delle acque dei pozzi artesiani. Altre misure furono raccolte successivamente nelle miniere, nei fori di assaggio praticati

specialmente in Germania per lo studio della costituzione del sottosuolo, e più recentemente nei grandi tunnel ferroviari aperti attraverso le Alpi; fu infatti facilmente riconosciuto che la temperatura nelle miniere non rispondeva allo scopo, perchè influenzata da circostanze esteriori, specialmente dalla ventilazione necessariamente mantenutavi per la respirazione dei lavoratori. Allo studio della temperatura nei pozzi artesiani si collegano specialmente i nomi di Arago e Walferdin; a quello della temperatura nei fori d'assaggio i nomi di Ermann (1831), di Humboldt (*Cosmos*), Middendorff (1845), di Huyssenn (1882), a quello delle temperature nelle gallerie il nome di Stapff che seppe dare ai lavori di apertura del tunnel del Gottardo l'importanza e il carattere anche di un'impresa altamente scientifica. Da tutte queste misure risulta in modo incontrovertibile che la temperatura cresce progressivamente (al di sotto di uno strato superficiale dove sono sensibili le variazioni periodiche, diurna ed annua) colla profondità, che l'aumento è variabile a seconda della natura delle roccie, ma che, escludendo alcuni casi eccezionali dove sono evidenti azioni perturbatrici, chimiche, vulcaniche o idrografiche, l'aumento di 1.° C. risponde a una differenza di profondità variabile fra 25 e 40 metri.

Qualora si ammetta che la temperatura aumenti con tal legge anche a maggiori profondità si raggiungerebbero ben presto temperature superiori a quelle di fusione dei materiali meno fusibili; e il fatto che in molti punti del globo esce realmente della lava che è apparentemente una roccia silicatica fusa, a temperatura altissima, confermerebbe, almeno a prima vista, così facile induzione. Si spiega così facilmente come le osservazioni delle temperature del sottosuolo e segnatamente i nuovi fatti sorprendenti raccolti da Humboldt nelle regioni eminentemente vulcaniche dell'America centrale ridonassero fondamento di probabilità alla teoria plutonica, difesa nei secoli che immediatamente precedettero il nostro da Cartesio, Newton, Buffon e Hutton, secondo la quale, al disotto di una crosta solida dello spessore di poche decine di chilometri, la terra sarebbe interamente formata da una massa di materie fuse e incandescenti, che in molti punti si inietta attraverso la crosta, giungendo talvolta a effondersi alla superficie.

Al principio del secolo, a questa teoria, difesa specialmente dalla scuola inglese di Hutton, si contrapponeva vittoriosamente la scuola tedesca di Werner, che negava il *fuoco centrale*, e cercava di spiegare i fenomeni vulcanici come effetti di combustione spontanea dei giacimenti carboniferi, o di combinazioni chimiche tra i varî materiali costitutivi della terra negando l'origine vulcanica di molte roccie primitive quali il granito e perfino il basalto. A questa scuola appartenevano anche Humboldt e il celebre geologo von Buch, i quali furono però ben presto condotti dall'osservazione dei fatti a ripudiare la teoria del maestro, e ad esagerare perfino la portata dell'azione del fluido interno sulla crosta solida nella formazione dei vulcani. Essi ammettevano infatti (Humboldt credeva anzi di averne la prova di fatto nella formazione del vulcano Jorullo, nel Messico) che i rilievi vulcanici fossero veri rigonfiamenti della crosta terrestre sollevata dal magma interno, come vescicule dell'epidermide terrestre, che si lacerano poi in un punto per lasciar sfogo al fluido sottostante. Questa teoria detta dei *crateri di sollevamento* fu anzi estesa a

spiegare la formazione di tutti i rilievi montuosi. Si ammetteva cioè che le roccie fuse interne, reagendo contro la sottile crosta superficiale, la sollevassero secondo certe linee, o di maggiore tensione interna o di minor resistenza dell' involucro, incurvando perciò tutti gli strati sedimentari sovrapposti alle roccie plutoniche. La struttura delle Alpi che hanno un nucleo di granito, gneiss ed altre roccie consimili, ritenute di origine plutonica, pareva confermare siffatta teoria. Questi sollevamenti orogenetici dovevano essere naturalmente, per il loro carattere vulcanico, repentini; ognuno di essi rappresentava un vero *cataclisma* tellurico, che segnava il trapasso da un'epoca geologica all'altra, e si credette perfino di poter fissare il tempo a ciascuno di essi determinando l' età dello strato più recente che ha preso parte e quello dello strato più antico che non ha preso parte al sollevamento. Elia di Beaumont fu il più autorevole e il più popolare sostenitore di queste teorie orogenetiche; egli credette di riconoscere tra i varî sollevamenti perfino un rapporto geometrico, in quanto concorrevano a costituire la forma cristallografica del *pentagono dodecaedro*. Egli inoltre spiegava ogni cataclisma come effetto della diversa contrazione del guscio solido e del nucleo liquido. Il primo, raffreddandosi e contraendosi più lentamente del secondo, era obbligato a distaccarsi da questo, e si manteneva distaccato per un certo periodo di tempo, facendo vòlta sulle cavità sotterranee che così venivano a formarsi, finchè a un tratto la vòlta cedeva lungo qualche linea di minor resistenza formando rilievo all' esterno, e il guscio tornava ad appoggiarsi sul nucleo.

Pendolo orizzontale Zölner.

Non entra nei limiti di questa rapida rivista di esporre dettagliatamente i fatti e gli argomenti che hanno dimostrato l'insostenibilità di siffatto castello di ipotesi e di teorie, che interessano più specialmente la Geologia. La teoria dei *crateri di sollevamento* fu presto smentita da una osservazione anche superficiale delle strutture vulcaniche, e la teoria orogenetica, che ad essa si collegava, dallo studio della struttura intima dei rilievi montuosi, che accenna prevalentemente a una forza orizzontale che ha incurvato, piegato, contorto gli strati originariamente orizzontali, e che si connette, secondo la moderna teoria di Suess (già accennata fin dal secolo scorso da Boulanger), a vasti sprofon-

damenti verificatisi nelle zone contigue. Finalmente la teoria dei cataclismi ricorrenti, naturale conseguenza della supposta tenuità dell' involucro solido che avvolgerebbe la massa fluida, venne sopraffatta dalla teoria ora prevalente della *uniformità* delle forze che agirono in passato, e della loro *conformità* con quelle che agiscono al presente a trasformare la faccia della terra. La diversità chimica delle lave emesse contemporaneamente da vulcani anche contigui, e in epoche diverse da uno stesso vulcano, dimostra finalmente che non esiste sotto la crosta terrestre un oceano uniforme di lava, ma che ogni vulcano in ogni sua eruzione trae il materiale eruttivo da un suo deposito speciale occasionalmente messo in comunicazione coll'esterno.

Pendolo orizzontale Rebeur-Paschwitz.

Rimane l'argomento, che pare fondamentale, delle temperature sotterranee crescenti fino a gradi certamente superiori a quelli di fusibilità di tutti i materiali conosciuti; ma esso non teneva conto delle pressioni pure crescenti colle profondità, e crescenti senza dubbio, secondo le recenti esperienze di Barus, con una progressione così rapida che a nessuna profondità permettono, salvo condizioni eccezionali, e in punti isolati, la fusione. Queste condizioni eccezionali possono verificarsi a non grande profondità, negli strati che prendono parte alle dislocazioni degli strati superficiali o ne risentono gli effetti; una deformazione o una rottura degli strati stessi può infatti diminuire la pressione sottostante in modo che essa non possa più impedirne la fusione voluta dall' alta temperatura. Si formeranno quindi delle cellule fluide che, quando siano o possano mettersi in comunicazione coll'esterno, potranno alimentare un' eruzione vulcanica; tale è la teoria del vulcanismo emessa da Reyer e che attualmente è accolta come la più probabile. Al disotto di una certa profondità noi dobbiamo ammettere che la massa terrestre è compatta.

Argomenti d'ordine affatto diverso, desunti dallo studio dei movimenti di precessione e di nutazione dell'asse terrestre condussero pure fin dal 1839 l'inglese Hopkins alla conclusione che la terra doveva essere solida anche nell'interno; Guglielmo Thompson (ora Lord Kelvin) correggendo il ragionamento di Hopkins giunse invece ad una di queste due alternative; o la terra è tutta solida, o la crosta cede alle forze esterne come se fosse perfettamente elastica. Ora G. H. Darwin mostrò (1879) che se questa seconda alternativa fosse la vera, non si verificherebbe più il fenomeno delle maree, perchè la parte solida della superficie terrestre seguirebbe esattamente e quindi cancellerebbe per noi il sollevamento e l' abbassamento della parte liquida. Dunque la terra è tutta solida.

Questi risultati sorprendenti, e ancora molto controversi dai geologi che

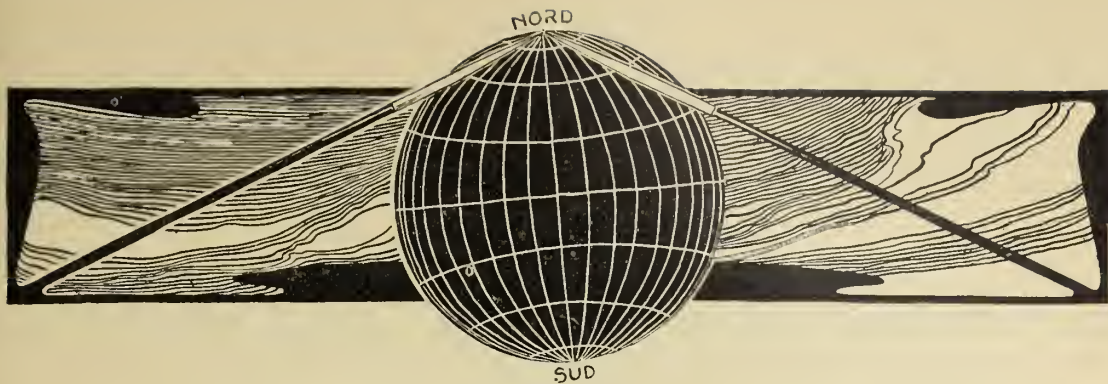
diffidano degli argomenti matematici e astronomici, ricevettero in questi ultimi tempi una conferma diretta, possiamo dire d'ordine geologico, dalle osservazioni dei terremoti. È noto che una scossa sismica irradia, attorno all'area dove si manifesta più violenta, un sistema assai complicato di vibrazioni elastiche che si propagano spesso a grandissima distanza dall' origine. Queste vibrazioni sono di due sorta; di condensazione, come quelle del suono, e di distorsione come quelle della luce; le prime si propagano, conforme alla teoria dell'elasticità, con velocità presso a poco doppia di quella delle seconde, ma ambedue le velocità, quando la distanza fra l'origine e la stazione d'osservazione sia molto grande, sono assai maggiori di quelle delle onde elastiche propagantisi nelle roccie anche le più compatte. Bisogna quindi ammettere che ambedue i sistemi d'onde si propagano non già lungo la crosta rocciosa della terra, ma attraverso i materiali interni, più compatti; non già secondo l'arco, ma secondo la corda di congiunzione, o secondo una linea di rifrazione, la cui forma e lunghezza dipende dalla distribuzione della densità nell' interno del globo. Ora, se è ammissibile che le onde elastiche di condensazione si propaghino come quelle del suono anche attraverso una massa fluida, ciò non si può ammettere per le onde di distorsione, le quali non possono propagarsi che attraverso un corpo dotato di rigidità. È merito specialmente di Knott e Rayleigh, di avere data la teoria di queste vibrazioni telluriche; di Milne, Rebeur-Paschwitz, Cancani e Agamennone di aver raccolto in gran copia i fatti che permisero le prime verifiche numeriche.

Non possiamo tuttavia rappresentare la terra come un corpo assoluta mente rigido, quale ci appare una massa d' acciaio di piccole dimensioni. Una massa, anche d'acciaio, delle dimensioni del nostro globo deve presentare indubbiamente, sotto l'azione delle enormi forze interne ed esterne che la sollecitano continuamente, un certo grado di plasticità; e infatti unaltro spostamento periodico dell' asse terrestre, del quale Chandler determinò il periodo di 427 giorni, non si può spiegare secondo Newcomb (1892) se non attribuendo alla massa terrestre una certa cedevolezza, che è però ancora minore di quella dell' acciaio. Le esperienze di Tresca hanno dimostrato che i metalli anche

Statua del monumento ad Arago, in Parigi.

più rigidi sotto l'azione di pressioni altissime assumono una specie di fluidità; le roccie stesse colle distorsioni talvolta straordinarie che esse hanno subito, senza rompersi, sotto l'azione deformatrice del raffreddamento terrestre provano quanto indeterminato sia il concetto di rigidità.

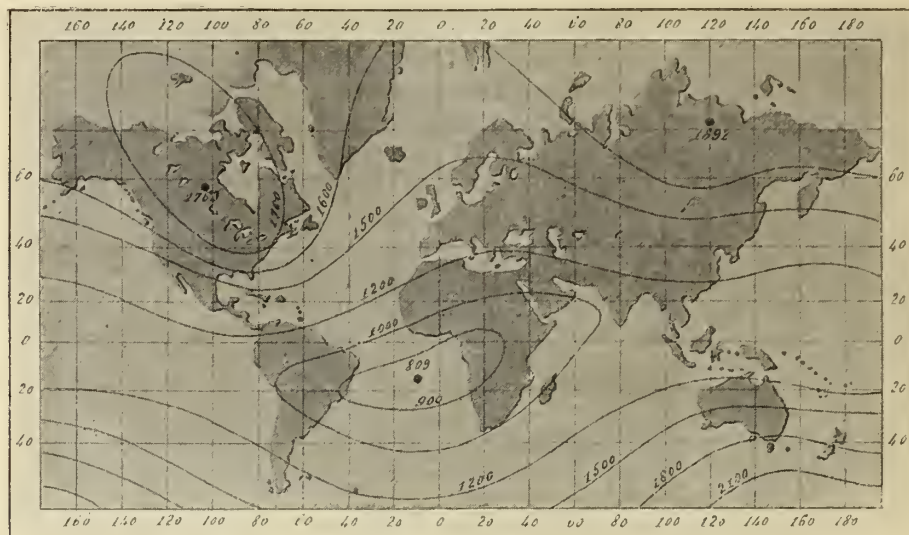
Del globo terrestre noi conosciamo adunque approssimativamente la grandezza, la forma e il modulo medio di rigidità. Fin dalla fine del Secolo scorso la classica esperienza di Cavendish (1799) colla bilancia di torsione ne aveva determinato anche la densità media, con una precisione tale, che le posteriori determinazioni fatte nel corso del secolo con apparati e metodi forse più ingegnosi, ma non più semplici, non portarono a risultati molto diversi. Secondo Cavendish la densità media della terra era 5,48 quella dell'acqua; secondo le più minuziose determinazioni di Jolly, Poynting e Wilsing essa oscilla fra 5,5 e 5,7. Così rimane confermata la geniale induzione di Newton, che la massa della terra sia da 5 a 6 volte quella che sarebbe se fosse tutta composta di acqua.

Lord Kelvin.

IL MAGNETISMO TERRESTRE

La Terra non esercita soltanto un' azione attrattiva su tutti i corpi; essa esercita anche un' azione direttiva su una speciale categoria di corpi. È un gran magnete, che obbliga tutti i corpi magnetizzati, naturalmente o artificialmente, e che siano liberi di moversi, e disporsi in una determinata direzione, col loro asse magnetico in un piano verticale determinato, che forma cioè un angolo determinato *(declinazione)* col piano meridiano, e in una *inclinazione* pure determinata sul piano orizzontale. Di più ogni corpo suscettibile di magnetizzazione, come il ferro dolce, assume per induzione del gran magnete terrestre una polarità magnetica. I due poli di questo gran magnete, dove un ago magnetico si mantiene verticale, non coincidono coi poli geografici, ma ne sono discosti da 25° a 30° gradi, trovandosi uno nell'America artica a 70 Lat. N.^{e} 96° Long. W, l'altro nel Pacifico Artico, presso a poco sotto l'Australia a circa 74° Lat. S e 148° Long. E.

La determinazione della declinazione, per la sua importanza nella Nautica, fu oggetto costante di studio nei secoli anteriori, dopo che Cristoforo Colombo ebbe dimostrato che essa non era già, come si credeva nel mondo antico, sempre occidentale (cioè che l'ago fosse deviato verso ovest dal meridiano), poichè presso le Azorre trovò che la declinazione era nulla e al di là era orientale. Halley nel 1701 diede la prima rappresentazione grafica della distribuzione geografica di questo elemento mediante le linee di eguale declinazione, o *linee isogoniche*, mentre nel 1721 Whiston tracciava la carta delle *linee di eguale inclinazione*, o *isocliniche*, ma per la sola Inghilterra meridionale e pel Canale. Un terzo elemento, teoricamente assai più importante, era stato oggetto di determinazione anche nel secolo scorso, l'*intensità del magnetismo*, ossia la forza colla quale un magnete di dato momento è mantenuto dal magnete terrestre nella sua posizione d'equilibrio, e colla quale tende a ritornarvi, oscillandovi attorno come un pendolo, una volta che ne sia deviato.

Ma in tutte le misure di questi tre elementi fondamentali del magnetismo terrestre mancava precisione di strumenti, unità di metodo, e unità di teoria.

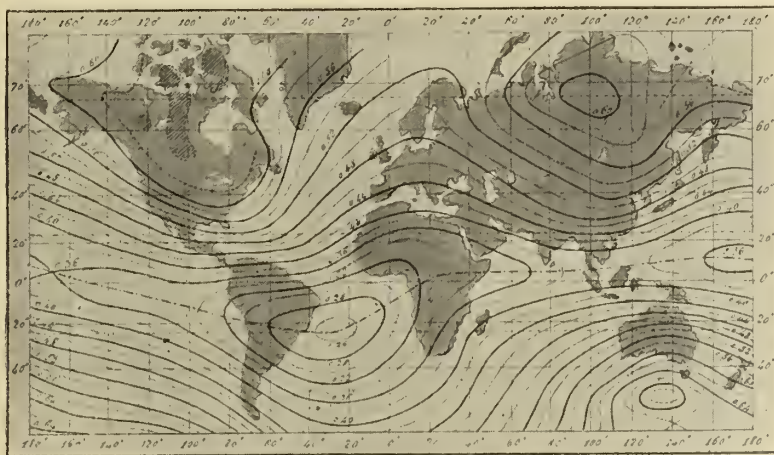
Ad Humboldt spetta sopra tutti il merito di aver esteso il campo delle osservazioni magnetiche non soltanto colle sue osservazioni personali su larghe estensioni d'America, d'Europa e d'Asia centrale, ma colla propaganda instancabile, che da vero apostolo delle scienze della natura egli seppe esercitare

Isodinamiche nel 1835.

presso gli studiosi e presso i governi di tutti i paesi civili, perchè si inaugurasse un sistema regolare di osservazioni magnetiche sul maggior numero possibile di stazioni. Gli strumenti avevano ricevuto un perfezionamento notevole verso la fine del secolo scorso per opera specialmente dell'astronomo Borda e del meccanico Lenoir; con essi Humboldt potè nel suo viaggio d'America, tra il 1798 e il 1804, dare gli elementi magnetici, specialmente l'inclinazione e l'intensità, in 124 stazioni distribuite su 115 gradi di Longitudine per 64 di latitudine, fra 12° Lat. S. e 52° Lat. N. Egli, seguendo l'esempio di Halley, rappresentò i nuovi risultati e gli antichi per la declinazione e l'inclinazione con linee *isogoniche*, e *isocliniche*, e istituì carte analoghe per la distribuzione della intensità mediante linee *isodinamiche*.

Chiamando *equatore magnetico* la linea isoclinica 0°, cioè quella che unisce i punti dove l'ago è orizzontale, Humboldt enunciò il principio che l'*intensità decresce dai poli all'equatore magnetico*, principio che era stato intravveduto già da Lamanon nell'infelice spedizione di Lapeyrouse, e da de Roussel verso il 1794, ma che era rimasto completamente ignorato e che ad ogni modo era fondato prima di Humboldt su troppo scarso numero di osservazioni. Humboldt non credeva però che l'equatore magnetico fosse esattamente anche una linea isodinamica, di intensità minima; egli aveva già constatato il fatto che in generale fra l'intensità e l'inclinazione non vi era necessariamente analogia di distribuzione, perchè punti di eguale intensità presentavano inclinazione diversa; la formula nella quale enunciò il principio deve ritenersi quindi come non rigorosa, ma soltanto approssimativamente intuitiva. Sabine

infatti estendendo le osservazioni nell' Atlantico tra il 1822 e il 1823 trovò che l'equatore magnetico non solo non era una linea isodinamica, ma non era nemmeno la linea delle intensità minime. Più tardi un fatto ancor più singolare fu messo in luce; Erman nel 1829 scoprì in Siberia un polo secondario di massima intensità e Lefroy nel 1845 trovò che anche il polo d'intensità nell'America settentrionale non coincideva col polo d'inclinazione dove l'ago è verticale. Analogamente Ross trovava che anche nell' emisfero australe vi erano due poli d'intensità. Le ulteriori, più estese ed esatte osservazioni hanno pienamente confermato questa duplicazione di poli in ambedue gli emisferi, come dalla carta del Neumayer che qui riproduciamo.

I fatti si presentano quindi assai più complessi di quel che sembra dovrebbero essere nel caso che la terra fosse un semplice magnete sferoidico. Ed è non piccola gloria del nostro secolo quella di aver saputo, se non districare completamente l' inviluppato problema, trovarne il filo direttivo, istituendo una teoria del Magnetismo terrestre che non solo rappresenta rigorosamente i fatti, ma porta a induzioni plausibili sulla natura delle cause. Fondatore di questa teoria è il sommo Gauss.

Prima condizione essenziale perchè un gruppo di osservazioni possa coordinarsi in una teoria è che le misure siano espresse in una unità comune a tutte, e *invariabile*. Humboldt aveva introdotto per la misura delle intensità una unità convenzionale, che fu adottata e mantenuta per tutta la prima metà del secolo. Egli scelse come intensità unitaria l'intensità da lui misurata nel punto dove aveva toccato l'equatore magnetico, a 7° Lat. S. 79° Long. W.,

Isodinamiche nel 1885, secondo Neumayer.

nelle Ande peruviane. Collo stesso ago egli determinò l'intensità a Parigi in 1,348, ammettendo implicitamente che durante il viaggio il magnetismo dell'ago fosse rimasto invariato, il che evidentemente è inammissibile perchè le scosse, le variazioni di temperatura e il tempo modificano continuamente il magnetismo di un'asta metallica. Di più l'unità di Humboldt sarebbe accettabile soltanto nell'ipotesi che l'intensità nel punto dove fu misurata si mantenesse

costante, mentre è provato che il magnetismo terrestre è continuamente soggetto a variazioni non solo periodiche, ma anche progressive e irregolari.

Gauss colla sua classica memoria *Intensitas vis magneticae ad mensuram absolutam revocatam* del 1833 insegnò il modo di determinare l'intensità del magnetismo terrestre indipendentemente dal momento magnetico dell' ago,

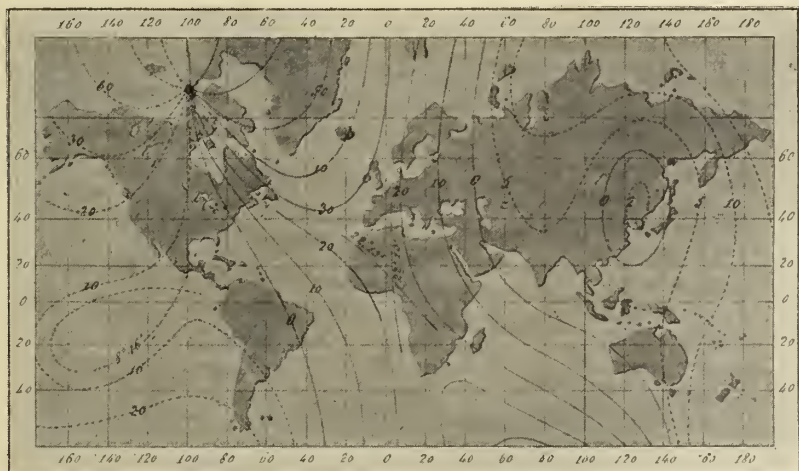
Isogoniche nel 1860, secondo l' osservazione di Gauss.

mediante due osservazioni indipendenti che danno l'una il prodotto, l' altra il quoziente dell' intensità e del momento: di più, poichè il magnetismo è governato, secondo la scoperta di Coulomb, dalla stessa legge newtoniana della gravità, egli definì l' unità di forza magnetica come l' unità di forza attrattiva, cioè come quella forza che imprimerebbe a un' unità di massa nell'unità di tempo, l' unità di accelerazione. Scegliendo come unità fondamentali il milligramma, il secondo, il millimetro egli trovò che a Gottinga l'intensità magnetica, nel giorno 19 Giugno 1834, era di 4,471. L'accelerazione di gravità, a Gottinga, espressa in mm. è 9811; quindi la forza del magnetismo terrestre è $^1/_{2070}$ della forza di gravità. Così l' unità magnetica ridotta alle unità fondamentali di tempo, di massa e di lunghezza, può dirsi veramente *assoluta*, cioè indipendente dalle circostanze mutabili e accidentali nelle quali possono essere fatte le misure.

Nel 1837 Gauss pubblicava una seconda memoria fondamentale per la teoria del magnetismo terrestre. La legge del Coulomb permette di applicare all'attrazione magnetica gli stessi principi analitici che condussero a così alto punto la teoria della gravità e dell' elettrostatica, e che si condensano nella così detta Teoria del Potenziale. La conoscenza di questa funzione detta *Potenziale,* che rappresenta un lavoro, basta a determinare le tre componenti della forza secondo tre direzioni, due orizzontali e una verticale, e viceversa la conoscenza di queste tre componenti, o anche dei tre elementi *intensità, inclinazione* e *declinazione* che sono collegate a quelle da relazioni semplici, basta a determinare il *Potenziale.*

Gauss dimostrò che il *Potenziale magnetico* alla superficie della terra poteva

essere espresso con una formola di 24 termini, a determinare i quali bastava la misura dei tre elementi magnetici in otto sole stazioni. Infatti i valori da lui calcolati rispondevano con sufficiente approssimazione, almeno per l'emisfero boreale, ai dati d'osservazione, e i valori ricalcolati da Ermann e Petersen nel 1874, coll'enorme materiale raccolto nell'intervallo di tempo, riconfermarono l'accordo. La formola di Gauss era dedotta in base all'ipotesi che le forze magnetiche derivassero esclusivamente da masse magnetiche interne alla terra; l'accordo fra essa e l'osservazione venne quindi a confermare indirettamente l'ipotesi, e ad escludere quindi come assai improbabile ogni altra ipotesi tendente ad attribuire il magnetismo terrestre a cause esterne alla terra. Gauss calcolò il momento magnetico totale della terra e la trovò equivalente a quello di 8464 Trilioni di aste di ferro magnetizzate a saturazione, ciascuna del peso di una libbra o di circa mezzo chilogrammo, distribuite in gruppi di 8 per ogni metro cubo e ad assi paralleli. I calcoli posteriori di Ermann e Petersen, Fritsche, Bezold e Adolfo Schmidt (1895) non modificarono sensibilmente tale risultato.

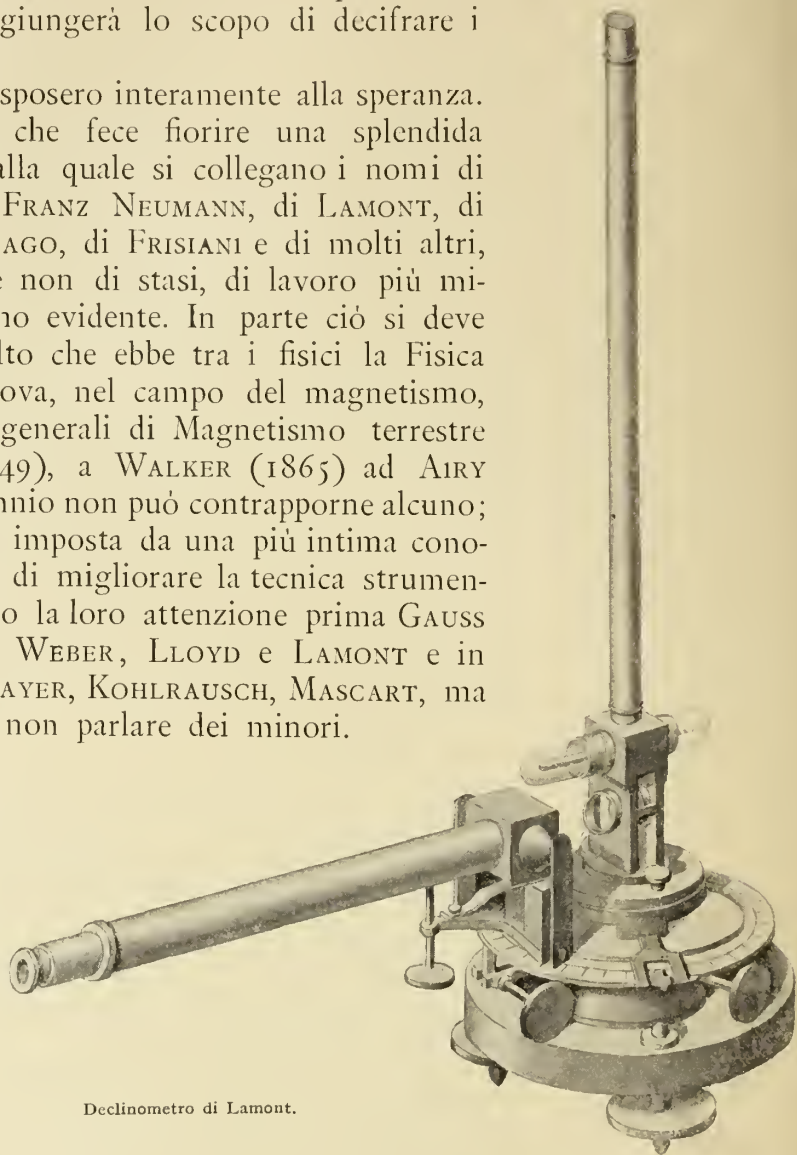
Per questi due lavori Gauss può chiamarsi a buon diritto il Galileo e il Newton del Magnetismo terrestre. Egli, raccogliendo i fatti a teoria, indicò cosa si doveva determinare e come si doveva determinare onde penetrare più a fondo nel segreto del fenomeno; se non seppe dimostrarne le cause, nemmeno Galileo e Newton seppero trovare l'essenza della gravità, nè Faraday e Clerk-Maxwell quella dell'attrazione elettrica. Ampère, che aveva scoperto l'azione direttrice esercitata dalle correnti elettriche sugli aghi calamitati, attribuiva il magnetismo terrestre a correnti circolanti attorno al globo da Est a Ovest, e Barlow riuscì infatti a riprodurre all'ingrosso l'azione magnetica

Isogoniche nel 1860, secondo la teoria di Gauss.

della Terra, con un globo di legno rivestito da una spirale solenoidale. Ma tale ipotesi non fa che girare la difficoltà senza risolverla.

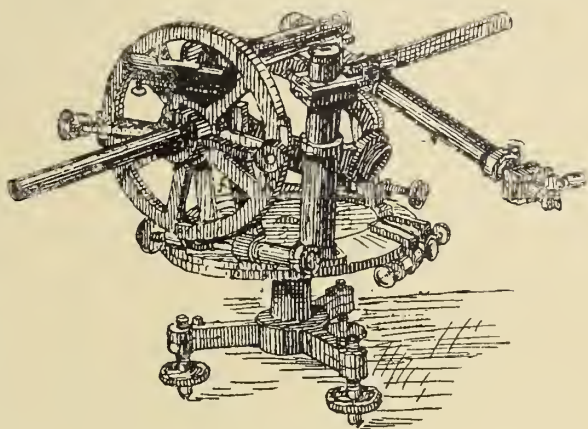
L'impulso dato da Gauss fu seguito con vero entusiasmo in tutti i paesi civili. Humboldt per il primo diede il nobile esempio di seguire e segnare

agli altri, colla immensa autorità di cui godeva in tutto il mondo scientifico, il nuovo indirizzo aperto agli studii magnetici. Una rete di osservatorii magnetici fu stabilita in molte città, tra le prime Milano per opera di Carlini e Frisiani. Humboldt poteva scrivere fin dal 1837 a Gauss. « Il vostro modo di presentare le osservazioni ha messo in piedi una cooperazione, che raggiungerà lo scopo di decifrare i misteriosi geroglifici ».

Forse i fatti non risposero interamente alla speranza. Al primo entusiasmo che fece fiorire una splendida letteratura magnetica, alla quale si collegano i nomi di Weber, di Bessel, di Franz Neumann, di Lamont, di Sabine, di Airy, di Arago, di Frisiani e di molti altri, successe un periodo se non di stasi, di lavoro più minuto e di efficacia meno evidente. In parte ciò si deve attribuire al minor culto che ebbe tra i fisici la Fisica terrestre, di che è prova, nel campo del magnetismo, il fatto che ai trattati generali di Magnetismo terrestre dovuti a Lamont (1849), a Walker (1865) ad Airy (1871), l'ultimo trentennio non può contrapporne alcuno; in parte alla necessità, imposta da una più intima conoscenza dell'argomento, di migliorare la tecnica strumentale, alla quale rivolsero la loro attenzione prima Gauss stesso, poi Hansteen, Weber, Lloyd e Lamont e in tempi più recenti Neumayer, Kohlrausch, Mascart, ma sopra tutti Wild, per non parlare dei minori.

Gli strumenti che al principio del Secolo si riducevano a semplice bussole orizzontali e verticali, sono ora veri teodoliti suscettibili di tutte le combinazioni per le misure di declinazione, di inclinazione e di intensità. Con siffatti strumenti di somma precisione, e portatili, si attende in questi ultimi tempi a costruire le carte magnetiche delle varie regioni; in Italia tale impresa fu quasi condotta a termine dall'ufficio centrale di Meteorologia per opera di Chistoni e Palazzo.

Declinometro di Lamont.

Nel campo della teoria notasi un risveglio significante in questi ultimi tempi per opera di Schuster e Schmidt, che continuarono e misero al corrente la teoria Gaussiana, e di Bezold, v. Tillo e Bauer che discutendo i risultati empirici arrivarono a conclusioni imprevedute e di un'alta portata teorica. Calcolando infatti la media dei valori che il Potenziale magnetico o

le componenti della forza magnetica hanno su ciascun parallelo essi dimostrarono che questi valori seguono la legge semplicissima del coseno, che cioè la componente orizzontale è proporzionale al cosen della latitudine; la componente verticale o il potenziale al seno della latitudine. Ora questa legge risponde precisamente a quella della distribuzione del magnetismo su una sfera magnetizzata uniformemente; quindi la distribuzione *media* del magnetismo sulla terra è affatto regolare, e le complicazioni della distribuzione reale rappresenterebbero l' effetto di una forza perturbatrice i cui effetti si compongono con quelli della forza normale. BAUER, studiando le anomalie degli elementi magnetici, cioè le differenze fra i loro valori reali e quelli che risponderebbero alla magnetizzazione uniforme del globo, trovò che esse possono rappresentarsi come dovute all' azione di un altro magnete situato presso a poco nel piano equatoriale e la cui intensità è tra $^1/_5$ e $^1/_6$ del magnetismo principale polare. BEZOLD rappresentando cartograficamente le anomalie del potenziale magnetico, come DOVE aveva già fatto per le anomalie della temperatura trovò che esse erano positive in un quasi emisfero compreso fra 5 Long. E. e 150 Long. W. negative in tutta la rimanente superficie.

Teodolite portatile di Wild.

Finora abbiamo parlato di elementi magnetici come se rappresentassero una proprietà invariabile del magnete terrestre. Invece essi vanno soggetti a continue variazioni, alcune delle quali periodiche, in corrispondenza coi periodi diurno, lunare, solare; altre progressive o, come son dette comunemente, ma non propriamente, secolari.

La variazione diurna della declinazione scoperta già fin dal 1682 da GUY TACHARD, confermata da GRAHAM nel 1722, e verso la fine del secolo scorso studiata da CELSIUS e HJÖRTER di Upsala, fu oggetto di studio sistematico e rigoroso ancora per opera di HUMBOLDT, sia ne' suoi viaggi d'America, sia in collaborazione con GAY-LUSSAC e con OLTMANNS, a Roma, Parigi e Berlino. Nella zona temperata boreale l' ago oscilla verso ovest dalle 8 di mattina alle 14, verso Est dalle 14 alle 23, mentre nelle ore notturne rimane presso a poco stazionario; nella zona temperata australe il periodo appare invertito. La zona equatoriale intermedia credevasi quindi, con ARAGO, che non presentasse alcun periodo diurno, eliminandosi i due effetti opposti; invece SABINE verificò nel 1847 che nell' estate boreale anche ivi domina il periodo boreale, nell'estate australe il periodo australe, presentandosi incerto il periodo diurno negli equinozi. L' ampiezza dell' oscillazione diurna cresce colla latitudine essendo per es. di 4',4 ad 11°, di 12',3 a 56°, di 32', a 80°; ma BROUN dimostrò che proiettando questa oscillazione sulla direzione vera dell'ago,

data dall'inclinazione, essa si riduce presso a poco costante intorno a 4',4.

Anche l'inclinazione presenta un piccolissimo periodo diurno studiato la prima volta da Arago (1827).

Il periodo annuo di questi due elementi può considerarsi come trascurabile.

Ben più notevoli sono invece le variazioni secolari. Le successive carte delle isogoniche e delle isocliniche dimostrano infatti che le linee di declinazione e di inclinazione nulla, e con esse tutto il sistema delle altre linee si spostano continuamente. Tale confronto fu iniziato nel 1819 dallo svedese Hansteen, che costruì una serie di carte di declinazione a cominciare dal 1600. Colombo incontrò, come si disse, la linea di declinazione nulla presso le Azorre, nel 1600 essa toccava la Norvegia e attraversava l'Africa; da allora riprese il cammino verso Ovest ed ora taglia l'America passando per la regione dei Grandi Laghi e nell'interno del Brasile. Anche i punti d'intersezione dell'equatore magnetico, o linea di inclinazione nulla coll'equatore geografico, presentano dopo il 1700 uno spostamento continuo da est verso ovest; ciò che Bauer rappresenta come effetto di un'analoga rotazione del magnete secondario ch'egli imagina situato nel piano dell'equatore onde spiegare le anomalie.

Teodolite portatile di Wild.
Combinazione per la declinazione.

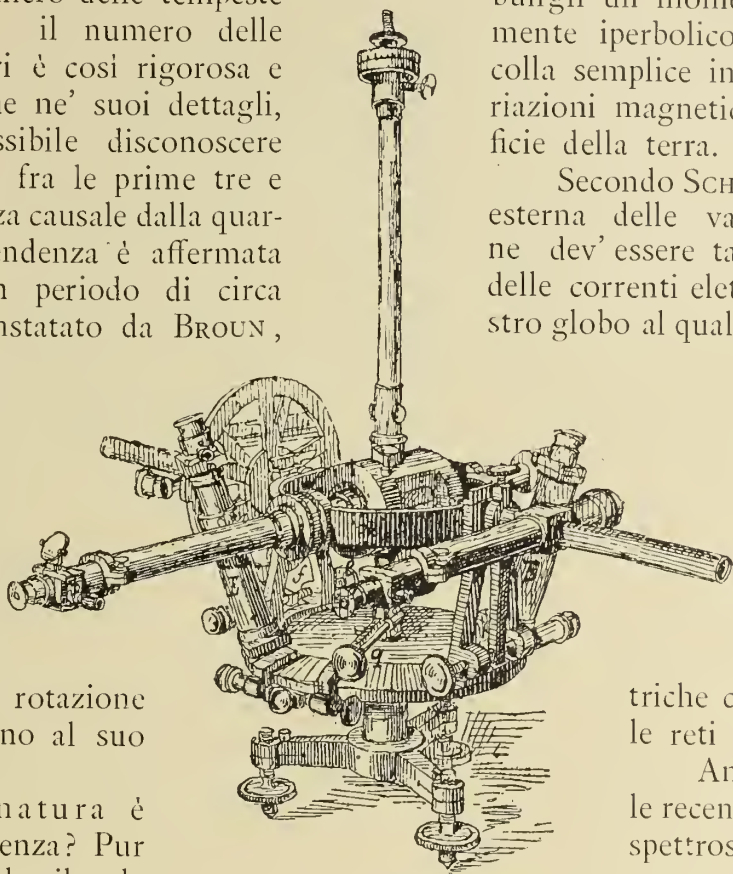
Queste variazioni secolari del magnetismo terrestre apparvero sempre uno dei fenomeni più sorprendenti della Fisica terrestre, in quanto contrastano colla apparente stabilità della maggior parte degli altri elementi fisici del globo, quale il sistema dei venti e delle correnti marine, la distribuzione media del calore, le maree, ecc. Se esse siano dovute, come il magnetismo medio, a cause interne al globo stesso, oppure a cause esterne quale l'azione del sole e dei pianeti o le variazioni dell'elettricità atmosferica, non si può ancora decidere, poichè se l'accennata rappresentazione di Bauer fa apparire più probabile la prima ipotesi, Schuster (1892) sarebbe invece condotto da considerazioni teoriche a ritenere che le variazioni secolari siano dovute a correnti elettriche indotte nello spazio dalla rotazione terrestre.

Lo stesso Schuster mise fuori di dubbio, con una discussione teorica della variazione diurna della componente verticale, che essa deve attribuirsi a causa esterna. Quale sia questa causa si ignora, ma non è improbabile che essa risieda nel sole, essendosi constatato da Lamont e da Wolf, indipendentemente l'uno dall'altro, che l'ampiezza dell'oscillazione diurna cresce e diminuisce periodicamente, con un periodo undecennale, che risponde perfettamente al periodo delle macchie solari. La stessa strana dipendenza da questo

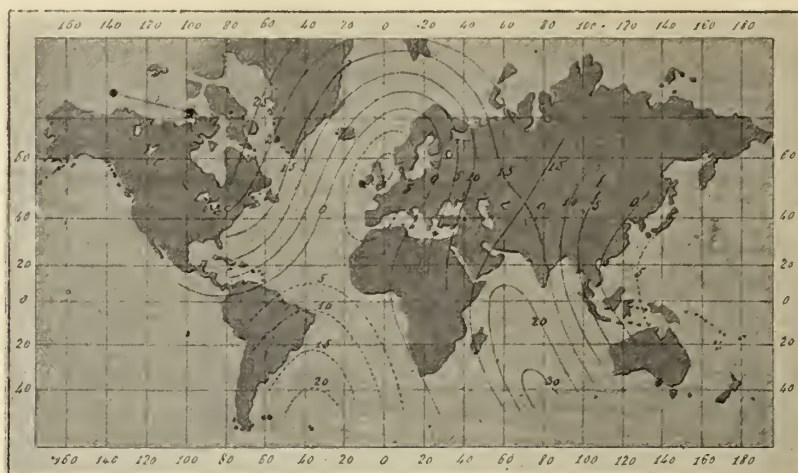
periodo solare scoperse SABINE anche in molte perturbazioni magnetiche straordinarie, le *tempeste magnetiche* di HUMBOLDT, che simultaneamente si verificano in tutte le stazioni del mondo, e che fin dalla fine del secolo scorso erano state da CELSIUS e HJÖRTER collegate a un altro fenomeno d'ordine apparentemente affatto diverso e particolare delle due zone circumpolari: voglio dire le *aurore boreali*. La corrispondenza fra le curve che rappresentano il numero annuo delle Aurore boreali, l'ampiezza della oscillazione magnetica diurna, il numero delle tempeste magnetiche il numero delle macchie solari è così rigorosa e costante anche ne' suoi dettagli, che è impossibile disconoscere una parentela fra le prime tre e una dipendenza causale dalla quarta. Tale dipendenza è affermata anche da un periodo di circa 26 giorni constatato da BROUN, HORNSTEIN, MÜLLER e LIZNAR negli elementi magnetici e nelle aurore boreali, e che risponde perfettamente al periodo di rotazione del sole intorno al suo asse.

Di che natura è questa dipendenza? Pur ammettendo che il sole sia un corpo magnetico, bisognerebbe attribuirgli un momento assolutamente iperbolico per ispiegare colla semplice induzione le variazioni magnetiche alla superficie della terra.

Secondo SCHUSTER la causa esterna delle variazione diurne dev' essere tale da indurre delle correnti elettriche nel nostro globo al quale riguardo giova accennare che anche le tempeste magnetiche e le aurore boreali sono accompagnate da spontanee correnti elettriche che percorrono le reti telegrafiche.

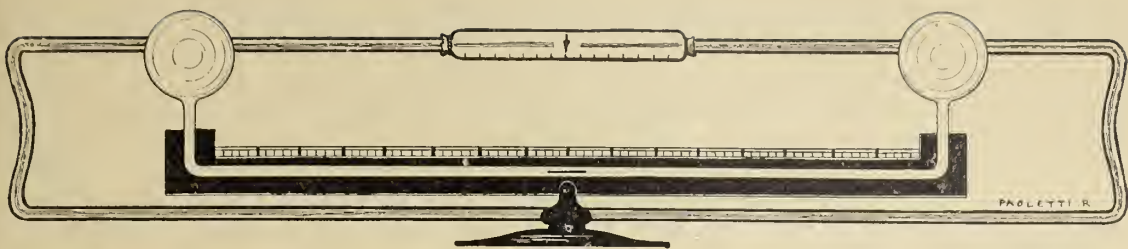
Anche secondo le recenti osservazioni spettroscopiche delle aurore boreali queste debbono ritenersi fenomeni di fluorescenza dovute a scariche elettriche fra l'atmosfera e la terra (LEMSTRÖM, AONGESTROM, PAULSEN).

Teodolite portatile di Wild.
Combinazione per l'intens. orizzontale.

Non possiamo chiudere questo rapido sguardo sui progressi della Teoria del Magnetismo nel nostro secolo senza accennare ad altre irregolarità permanenti che perturbano il regolare andamento delle linee magnetiche. Alcune di esse sono regionali, come quella rivelata da MOUREAUX nel bacino della Senna, da CHISTONI nella riviera ligure, da FRITSCHE presso Mosca e sembrano collegate alle linee tectoniche fondamentali della regione stessa, e alle perturbazioni della gravità rivelate dal pendolo; altre dipendono dalla natura delle roccie, e particolarmente dalla presenza di roccie magnetiche, o da una speciale polarità di alcune roccie, indotta dal magnetismo terrestre, probabilmente

quando la roccia dallo stato fluido passò allo stato solido o, secondo Pockels, dalle scariche repentine (fulmini) o continue dell'elettricità atmosferica. In questo campo l'Italia raccolse recentemente il più cospicuo materiale di osservazioni per opera di Keller, Cancani, Oddone, Sella, Franchi e Folgheraiter. Di particolare interesse sono gli studî di quest'ultimo sui vasi etruschi, avendo egli constatato che essi conservano ancora un asse magnetico indotto al

Isogoniche nel 1600.

momento della cottura, e che quindi conservano i valori dell'inclinazione magnetica di parecchi secoli a. C.

Da quanto si è venuto rapidamente esponendo, possiamo farci un'idea della vastità di ricerche che apre agli studiosi l'argomento del magnetismo terrestre che afferma una proprietà generale della Terra (e certamente degli altri corpi celesti) analoga alla gravità, lascia intravvedere un altro rapporto di dipendenza tra i pianeti e il sole, e nello stesso tempo permette induzioni plausibili sulla costituzione interna del nostro globo.

Periodi delle Aurore boreali, delle ampiezze diurne della declinazione e delle macchie solari.

METEOROLOGI

La Meteorologia è tra le scienze del mondo esteriore ciò che la Psicologia è tra le scienze del mondo interiore. Noi siamo in così intimo e continuo rapporto coi fenomeni dell' atmosfera in cui viviamo, essi hanno così immediata influenza su noi e sul nostro piccolo mondo circostante, che ci riesce difficile sollevarci al di fuori di noi a quella considerazione assolutamente obbiettiva dei fenomeni stessi che sola può costituire a scienza un gruppo di cognizioni. Nessun ramo della Fisica terrestre fu perciò (ed è pur troppo ancora) soggetto, quanto la Meteorologia, alle aberrazioni individuali, ai sistemi fantastici, alle superstizioni, e perciò più esposto ai pericoli della cieca credulità degli indotti e della sospettosa diffidenza dei dotti o di chi si crede tale. Tuttavia anche in questo campo così pieno di male erbe il nostro secolo seppe aprire una strada, che è la strada maestra, in quanto non ammette altri fondamenti che i principii della Fisica e della Dinamica.

Un gruppo speciale di fenomeni atmosferici era stato però anche nei secoli precedenti oggetto di studio sistematico e fecondo; il gruppo dei fenomeni ottici, la cui natura geometrica lasciava minor campo alle induzioni fantastiche. L' arcobaleno, gli aloni, i parelii, la rifrazione atmosferica, il miraggio, il crepuscolo, il colore del cielo, la trasparenza dell' aria, la scintillazione delle stelle, avevano ricevuto, alcuni fin dal secolo XVII, altri fin dalla più remota antichità, una spiegazione o una misura più o meno grossolanamente esatta, che il nostro secolo non fece che completare, e adattare alla teoria ondulatoria della luce, quando questa trionfò decisamente sulla teoria dell' emissione. Sarebbe troppo lungo e minuzioso discorso esporre anche brevemente in che consistano questi progressi del Secolo nostro in un campo già abbastanza seriamente coltivato dai precedenti, e che specie nel secolo XVIII era stato di moda per l'opera di Newton, volgarizzata da Voltaire in Francia e dall'Algarotti in Italia; essi rispondono ai grandi pro-

gressi dell'Ottica matematica da una parte e della tecnica strumentale dall'altra, e non sono quindi suscettibili di riassunto; lo stesso elenco dei più benemeriti di questo ramo di studio, da Biot a lord Rayleigh sarebbe troppo lungo. Mi basti accennare soltanto alle nuove vie di osservazione aperte nel secolo. Tra queste principale è l'osservazione spettroscopica.

Fu l'italiano Zantedeschi il primo a rilevare il fatto che alcune delle linee oscure dello spettro solare presentavano una variazione a seconda dell'altezza del sole sull'orizzonte, essendo visibili soltanto quando il sole è basso, di mattina e di sera, invisibili nelle ore meridiane. Ciò non può dipendere che dal vario assorbimento dell'atmosfera, e infatti dagli studii di Brewster e Gladstone, di Angstrom, di Secchi, di Janssen risulta ormai dimostrato che esse sono dovute quasi interamente all'assorbimento esercitato dal vapore acqueo e dall'acido carbonico dell'aria; Piazzi Smyth suggerì anzi che la presenza e l'intensità di alcune di quelle linee, indicando una maggior copia di vapore nell'atmosfera, erano segnale quasi indubbio di pioggia. Altre applicazioni notevoli trovò lo spettroscopio nell'esame di quei misteriosi fenomeni luminosi che sono la *luce zodiacale* e le *aurore polari*. Il cono di luce cinerea che, specialmente nell'equinozio di primavera, si vede talora subito dopo il tramonto sorgere dall'orizzonte nel punto dove è scomparso il sole, fu definito dallo spettroscopio come fenomeno di luce solare riflessa; senonchè nello spettro di essa si rivelò una linea giallo-verde che è pure caratteristica dello spettro delle aurore boreali e che non si riscontra in nessun altro spettro di sostanza conosciuta.

Linee atmosferiche dello Spettro.

Passando ora alla Meteorologia propriamente detta, che studia gli elementi principali del *tempo*, come temperatura, umidità, vento, nubi, precipitazioni acquee, essa si può dire veramente figlia del nostro secolo. Anche nel secolo scorso si erano raccolte regolarmente osservazioni meteorologiche in alcuni osservatorii d'Europa, e fra le più antiche serie debbono annoverarsi quelle di Padova e Milano; ma se esse davano gli elementi per meglio definire *il clima* dei luoghi d'osservazione, e permettere qualche previsione locale, non permettevano alcuna induzione generale sui rapporti fra gli elementi meteorologici e climatologici dei varii paesi e quindi sulle cause che possono determinarli. A ciò era necessario una larga cooperazione di osservatori, che usassero strumenti comparabili fra di loro e seguissero metodi uniformi di osservazione.

Il primo tentativo di siffatta cooperazione risale al 1780 ed è titolo di merito della *Societas meteorologica Palatina di Mannheim*, che si fece promo-

trice di un sistema d'osservazioni a ore fisse del giorno con istrumenti più esatti di quelli allora più in uso e, ciò che più importa, confrontati fra di loro, e con norme e simboli convenuti. Le stazioni che essa riuscì a coordinare in tal modo erano 39 delle quali 1 in Groenlandia e 2 nell'America del Nord; in Italia erano Bologna, Chioggia, Padova e Roma.

Le osservazioni durarono fino al 1792 quando una bufera, non meteorologica, venne a sconvolgere l'Europa. Il seme non rimase tuttavia infecondo e l'iniziativa fu ripresa al principio del secolo nostro per iniziativa ancora di quell'infaticabile apostolo della Fisica terrestre che era Humboldt. I suoi estesi viaggi permisero per la prima volta uno studio comparativo dei climi e dei

Carte delle linee isoterme annuali

fenomeni del tempo in regioni assai remote e diverse: per iniziativa sua i vasti dominii di Inghilterra e di Russia furono sparsi di stazioni meteorologiche; finalmente egli fu il fondatore del primo Istituto meteorologico annesso all'Ufficio prussiano di Statistica. Egli ebbe anche il vanto di dare il primo saggio dei risultati che potevano raccogliersi con siffatto sistema di cooperazione scientifica pubblicando (1817) la Carta delle *isoterme annuali*, cioè delle linee congiungenti i punti di egual temperatura media dell'anno. Questo primo documento di Climatologia comparativa gettò uno sprazzo di luce sulle prineipali cause che determinano la distribuzione del calore sulla faccia della terra, e sulle circostanze locali che possono spiegarne le irregolarità, quali sono rappresentate dalle deviazioni delle isoterme dai paralleli. La sua carta non raccoglieva tuttavia che 56 temperature medie; ma l'impulso da lui dato coll'esempio e colla propaganda fu tale che già nel 1844 le stazioni erano 422, nel 1853 erano 506, nel 1865 oltre 8000, attualmente superano certamente le 10000, e ogni paese civile ha il suo Istituto meteorologico che attende a raccogliere e discutere i dati delle stazioni nazionali e coloniali ed è in continuo rapporto cogli Istituti affini dell'estero.

Quanto agli strumenti giova ricordare che il principale tra essi, il termometro, non ricevette la sua definizione e costruzione rigorosa che nella seconda metà del nostro secolo. I gradi del termometro debbono rappresentare eguali quantità di calore; la graduazione dei termometri antichi ad alcool o a mercurio consisteva invece nel dividere semplicemente in parti eguali (80, 100 o 180) la distanza fra due punti fissi, quello del ghiaccio fondentesi e quello dell'ebollizione. Ciò implicava che il coefficiente di dilatazione dei liquidi termometrici fosse costante, il che non è vero. Nelle sue colossali esperienze sulla macchina a vapore Regnault usò pel primo di termometri ad aria o ad altro gas ritenuto permanente, pei quali quella costanza si verifica con molta approssimazione nei limiti delle temperature ordinarie; e il termometro ad aria servì da allora come strumento di paragone per la graduazione dei termometri a mercurio.

Ma una definizione rigorosa di temperatura, indipendente da qualunque supposto sperimentale, non si potè avere se non quando i principi della teoria meccanica del calore trovarono formola rigorosa nei lavori di Clausius, e William Thomson; a quest'ultimo spetta il merito (1848) di aver dato il modo di determinare una scala assoluta di temperature, i gradi della quale rispondono esattamente a eguali quantità di calore.

Barometro a bilancia di Secchi-Wild.

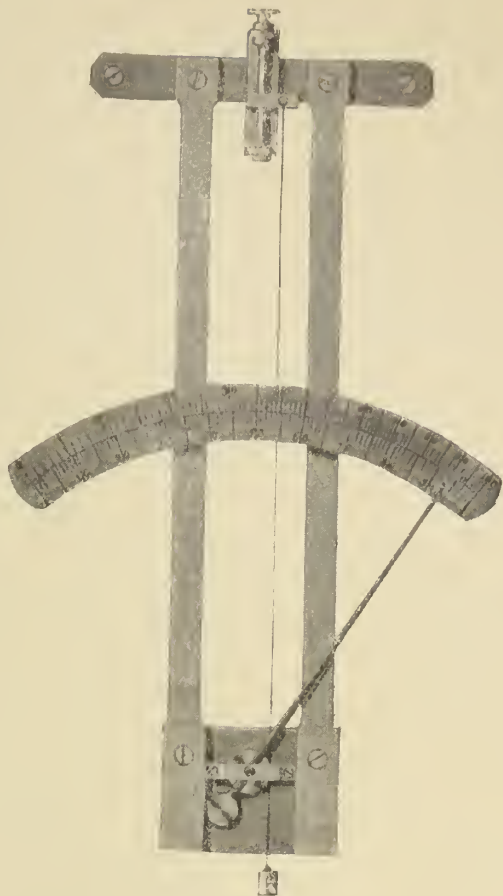
Un' altra causa che rendeva non comparabili fra loro non solo due termometri, ma anche i dati di uno stesso termometro a epoche diverse fu scoperta nel 1837 da Despretz ed è lo *spostamento dello zero*, cioè le alterazioni della scala prodotte dalle modificazioni molecolari che il vetro subisce in progresso di tempo. Furono trovate però alcune qualità di vetro che non presentano che in piccolissimo grado tale difetto; a ogni modo è necessario verificare di tempo in tempo la posizione dello zero, immergendo il termometro nel ghiaccio fondente.

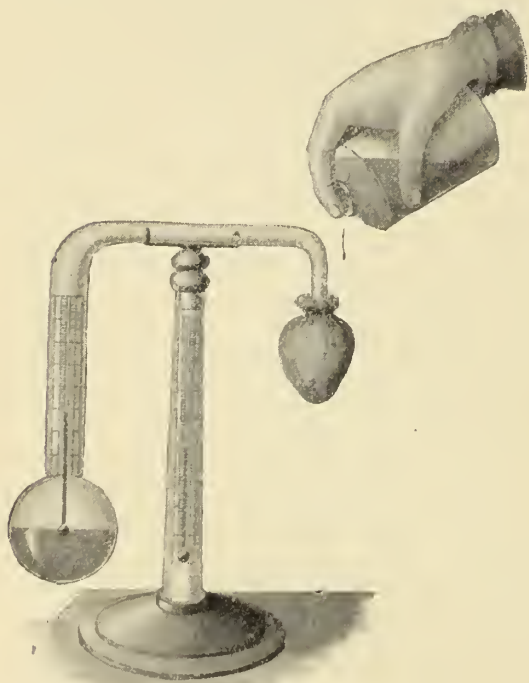
Il barometro a mercurio non ricevette modificazioni fondamentali; già fin dal principio del secolo precedente si conosceva la necessità di far bollire il mercurio nella canna per espellerne l'aria, che è la sola condizione per avere un barometro rigoroso. Le modificazioni ideate, di semplice dettaglio, mirano esclusivamente a rendere più comoda e sopratutto più esatta la lettura dell'altezza barometrica, p. es., coll' applicazione del nonio, o a rendere più facile e sicuro il trasporto dello strumento, a che mira la disposizione di

Igrometro a capello.

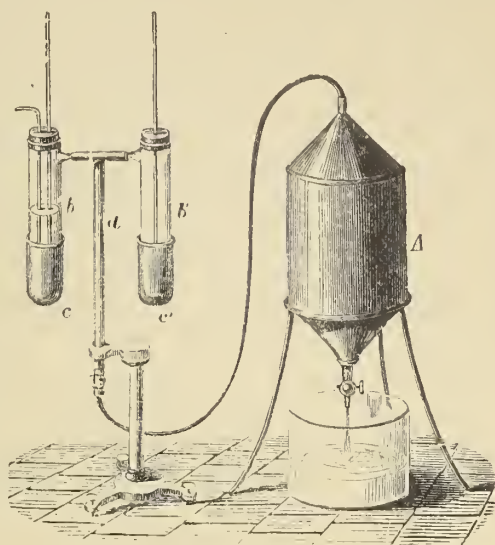
Fortin, che rendendo mobile la pozzetta, permette all'occorrenza di riempire tutta la canna barometrica. Ma a tale oggetto provvide più radicalmente l'invenzione dei barometri aneroidi e olosterici. Già fin dal 1697 LEIBNIZ scriveva a Papin: « On me parle d'un baromètre portatif avec du mercure, je crois qu'on en pourrait faire sans mercure par une manière de souflet bien fermé ou à la façon d'une pompe ». Ma solo nel 1848 il fiorentino VIDI riuscì a mettere in atto l'idea registrando su una scala le deformazioni che la pressione produce in una cassetta metallica ermeticamente chiusa e nella quale sia fatto il vuoto. Gli attuali aneroidi di GOLDSCHMIDT non sono che una semplificazione di quello di VIDI, nel quale alla registrazione per mezzo di un indice, che richiedeva un meccanismo complicato si, sostituì quello assai più semplice, e che presenta minor attrito, per mezzo di una leva. BOURDON sostituì alla cassetta un tubo incurvato, che si distende più o meno a seconda della pressione esterna e le cui oscillazioni sono direttamente segnalate da un indice su un quadrante graduato; per tale modo più comodo di lettura è l'aneroide BOURDON nella pratica volgare preferito a quello più rigoroso di GOLDSCHMIDT.

L'umidità atmosferica era misurata alla fine del secolo scorso coll'*igrometro a capello* di SAUSSURE; GAY LUSSAC e più tardi REGNAULT fecero oggetto questo strumento di discussione rigorosa e di miglioramenti; e anche attualmente esso si conserva negli osservatorî come mezzo immediato e attendibile di misura.

Nel 1820 DANIELL ideò l'igrometro ad appannamento, nel quale si produce un raffreddamento progressivo, facendo evaporare dell'etere, e l'umidità dell'aria è determinata dalla temperatura alla quale il vapore comincia a condensarsi su una superficie liscia (*punto di rugiada*); lo strumento ricevette, dopo una ingegnosa modificazione di BELLI, la sua forma definitiva, per quantö meno comoda, da REGNAULT nel 1845. Ma intanto, nel 1825, AUGUST inventava lo *psicrometro* che dà l'umidità relativa dell'aria colla semplice lettura di due termometri, l'uno asciutto, l'altro bagnato. È questo lo strumento ormai definitivamente accolto dai meteorologi, e che presenta il vantaggio di dare simultaneamente la misura di due tra gli elementi fondamentali del *tempo*, la temperatura e l'umidità. Fu però ben presto riconosciuto che queste due misure potevano dipendere, in uno stesso luogo, da un complesso di cause

accidentali, quali la varia esposizione, la radiazione dei corpi circostanti, il vario movimento dell'aria; ed è il risultato di pazienti discussioni l'attuale sistema di padiglioni meteorologici dove gli strumenti sono sottratti il meglio possibile alle influenze perturbatrici, pur essendo in libero contatto coll'aria libera. Ma specialmente lo psicrometro richiede un attivo ricambio d'aria, e a ciò provvide il prof. G. Cantoni munendolo di un mulinello a molla, che ruota davanti ai bulbi dei due termometri; più in voga, specialmente in Germania, è lo psicrometro ad aspirazione di Assmann nel quale il mulinello situato al di sopra dei due termometri provoca una corrente d'aria lungo di questi, entro due tubi che li abbracciano. Questa ventilazione artificiale presenta anche il vantaggio che la misura del termometro asciutto è assai pronta, ciò che è di massima importanza nei casi in cui la temperatura varii rapidamente, come avviene nelle ascensioni aerostatiche; di più essa annulla quasi l'effetto delle cause locali di perturbazione.

Strumenti per determinare la velocità o forza del vento se ne idearono parecchi, ma non si può dire che siasi trovato ancora quello che risponde a tutte le caratteristiche dei movimenti dell'aria. Il metodo dominante in principio del secolo era quello di misurare la pressione esercitata dal vento su una lamina metallica, o entro un sifone con apertura diretta contro il vento; gli strumenti tipici del genere sono l'anemometro a lamina di Osler e quello a sifone di Lind. Il metodo prevalso in seguito è quello di misurare la velocità del vento mediante mulinelli orizzontali o verticali. Lo strumento ora generalmente adottato è il molinello orizzontale a coppe di Robinson (1850) la cui teoria è la meglio assodata, di guisa che i dati di due di essi, quando siano bene costrutti, possono ritenersi sufficientemente comparabili fra di loro. Ma l'errore che ne infirma le misure è di principio; l'anemometro registra per inerzia un movimento continuo, mentre il movimento del vento è a scatti repentini, a sbuffi e a pause, come dimostrano i tracciati dell'anemometro a pressione di Dines e quelli di Langley.

Igrometro ad appannamento.

Un progresso notevole nel modo di osservazione fu introdotto dagli strumenti auto-registratori che, benchè meno esatti e costanti degli strumenti a osservazione diretta, presentano il vantaggio di dare una registrazione continua degli elementi meteorologici e di permettere perciò di studiarne non solo l'andamento regolare, ma anche tutte le perturbazioni accessorie che sfuggono generalmente a un'osservazione saltuaria a ore fisse. In essi le variazioni dello strumento sono automaticamente

registrate o da un indice scrivente o per mezzo della fotografia su un foglio scorrente con velocità uniforme sul quale sono indicate rigorosamente le divisioni del tempo; si ha così una curva rappresentativa delle modificazioni periodiche o irregolari che ha subito ogni elemento in un dato periodo di tempo. Per la registrazione della temperatura si riconobbe ben presto la necessità di ricorrere a termometri esclusivamente metallici, valendosi o della dilatazione di fili metallici, come ideò Secchi, o della deformazione che subiscono delle lamine o delle spirali composte di due metalli di diversa dilatabilità, come nel *Termografo* Hipp-Wild. Per la registrazione automatica della pressione Secchi si valse di un barometro a bilancia, e sullo stesso principio è fondato il *barometro registratore a puleggia* di Sprung (1884). Ma anche qui si impose ben presto, per ragione di comodità, l'uso dei barometri metallici. Per la registrazione dell'umidità, Secchi si valse di uno psicrometro metallico costituito da due fili, uno asciutto, l'altro bagnato, ma ora riprende autorità l'igrometro a capello di Saussure, suscettibile di più facile registrazione e di più diretta interpretazione. Secchi pel primo ideò di riunire in un solo apparecchio, detto *Meteorografo*, un sistema completo di autoregistratori, comprendente anche anemografi e pluviografi; ma l'apparato, troppo costoso, non ebbe applicazione. Recentemente Janssen ne fece costruire uno per l'Osservatorio da lui costrutto sulla vetta del Monte Bianco.

Igrometro ad appannamento di Regnault

Il risultato più immediato delle osservazioni meteorologiche regolarmente continuate in una stazione per una lunga serie d'anni, dopo quello di determinare le *normali* climatologiche, è di determinare la legge delle variazioni periodiche o irregolari degli elementi meteorologici. Fin dal secolo precedente si era riconosciuta l'opportunità di esprimere queste leggi con formole empiriche che rappresentassero il meglio possibile le osservazioni: p. es. Lambert nel 1779 aveva espresso l'andamento annuo della temperatura con una somma di seni e coseni dei successivi multipli interi dell'arco che esprime l'epoca dell'anno, moltiplicati ciascuno per un coefficiente costante. Fourier diede il fondamento teorico a siffatta rappresentazione trigonometrica dimostrando che con un numero abbastanza grande di termini siffatti si può, in date condizioni, esprimere quasi esattamente l'andamento anche irregolare o evidentemente non periodico di una grandezza fisica. Fu il primo Bessel che applicò questa teoria alle grandezze meteorologiche, applicando per la determinazione dei coefficienti il metodo così detto dei *Minimi quadrati*, fondato da Gauss, e che serve a costruire sui dati di tutte le osservazioni i valori *più probabili* dei coefficienti stessi; perciò la formola trigonometrica è detta

comunemente *formola besseliana*. Essa è di speciale utilità nel caso che sia evidente, o si supponga, una dipendenza della variazione che si studia da un periodo determinato, p. es. dal periodo diurno od annuo, o dai varî periodi lunari, o della rotazione del sole, o dal periodo undecennale delle macchie solari e così via: basta perciò esprimere il tempo come frazione di quel periodo, e, se la dipendenza è reale, basterà un piccolo numero di termini per esprimere abbastanza esattamente le osservazioni SCHIAPARELLI. (1866), in una classica memoria troppo dimenticata, mise però in evidenza i pericoli di un troppo facile uso di siffatte rappresentazioni analitiche, dove la legge fisica è coartata spesso dalla legge analitica. Una buona rappresentazione grafica dei dati d'osservazione mette assai meglio in evidenza, anche ai profani, l'andamento di un fatto meteorologico, e gli strumenti registratori hanno anche questo privilegio di darcela bell'e fatta.

Le variazioni che prima di tutte furono messe in evidenza sono quelle rispondenti ai periodi astronomici che ne sono la causa più diretta: le variazioni diurne e annue della temperatura e dell'umidità atmosferica, nelle quali non si nasconde tuttavia l'influenza indiretta di altre cause e condizioni, alcune dipendenti anch'esse dalla causa prima, i movimenti del sole, altre inerenti invece alla natura e posizione del luogo d'osservazione. Così l'influenza della latitudine, dell'altitudine, dell'esposizione, della vicinanza al mare, della coltivazione, delle correnti aeree e marine dominanti, e così via, sui due periodi principali della temperatura vennero messe mano mano più in luce coll'estendersi delle osservazioni; non è qui il caso di far nomi perchè non fu che un naturale svolgimento di osservazioni e di deduzioni spontanee. Più complicata appare la reciproca di pendenza dei fenomeni nei periodi del vento e della pioggia, anche perchè questi due elementi sono meno suscettibili di misura esatta. Per l'intensità del vento si constata generalmente un periodo diurno che prima ESPY e poi KÖPPEN e SPRUNG spiegarono con movimenti verticali, sollevandosi nelle ore diurne l'aria bassa e discendendo l'aria alta dotata di maggior velocità. Il regime annuo della quantità di pioggia, e più ancora quello della frequenza, sono assai diversi da paese a paese, cosicchè le carte rappresentative, nelle quali i diversi regimi annui della pioggia sono rappresentati a colori, ricordano la veste dell'arlecchino, pur segnalando una differenza sistematica fra le regioni continentali e le oceaniche e fra le tropicali e le temperate.

Notevole per la sua regolarità, specialmente nelle regioni tropicali, come fu rivelato da HUMBOLDT, è il periodo diurno della pressione atmosferica, ma ancora inesplicate sono le cause che lo determinano. Infatti esso presenta due massimi e due minimi, anzi in alcuni paesi una terza ondulazione meno accentuata si accennerebbe nelle prime ore di notte. Esprimendo il fatto colla nota formola besseliana, appare che a determinare l'ondulazione diurna della pressione concorrono due ondulazioni principali ben distinte; l'una a periodo diurno, tanto più intensa quanto maggiore è l'oscillazione della temperatura, e che è quindi effetto di questa: l'altra a periodo semidiurno, di dodici ore, che è presso a poco uniforme e sincrona in tutti i paesi, e la cui ampiezza è massima

presso gli equinozi, minima verso i solstizi. Questa seconda ondulazione fu oggetto di studio da parte, prima d'altri, del nostro CARLINI. W. THOMSON, ora LORD KELVIN, emise l'ipotesi (1860) che fossimo davanti a una specie di marea prodotta nell'atmosfera non dall'attrazione lunare, ma dal riscaldamento diurno dell'atmosfera, e l'ipotesi fu rafforzata recentemente dai calcoli di MARGULES (1892). ANGOT e HANN raccolsero e raccolgono in tutte le parti del mondo i dati che confermano la legge e dimostrano come variamente essa si esplichi nei vari paesi e nelle varie stagioni.

Psicrometro Assmann.

Col prolungarsi delle serie d'osservazioni altre oscillazioni periodiche furono rivelate da varie parti nei principali elementi del clima, segnatamente nella temperatura. Il più studiato, e ancora il più controverso, è il periodo undecennale rispondente a quello delle macchie solari.

Il primo che accennò a una rispondenza fra questo fenomeno solare e un fenomeno terrestre fu GUGLIELMO HERSCHEL seniore (1801): egli verificò che dal 1650 al 1800 i prezzi del grano erano cresciuti e calati col crescere e calare della macchie solari; ma i dati del secolo nostro non confermerebbero tale risultato. Un primo confronto diretto fra i dati termometrici e il numero delle macchie fu tentato da GAUTIER di Ginevra pel periodo 1827-43, e il risultato fu affermativo, accennando che le medie termometriche erano alquanto, maggiori nei periodi di minimo delle macchie; ma altri confronti più estesi tra altri quello fatto da CELORIA sulla lunga serie di osservazioni della Specola di Brera, avrebbero condotto a risultati più incerti o assolutamente negativi. Tuttavia il confronto più completo istituito da KÖPPEN (1873) sulle osservazioni del periodo 1820-71, per 25 grandi regioni del nostro emisfero porrebbero fuori di dubbio la dipendenza accennata da GAUTIER, la quale sarebbe spiccatissima fino al 1854, mentre negli anni successivi parrebbe turbata. Il periodo undecennale della temperatura sarebbe in modo indiretto provato secondo FRITZ e TOMASCEK dall'epoca della vendemmia, che ritarderebbe negli anni di massimo delle macchie solari; secondo NERVANDER ed altri dall'epoca dello sgelo dei fiumi russi e finlandesi; dalla copia dei ghiacci galleggianti; dalle oscillazioni dei ghiacciai; dalle crisi economiche. Lo stesso periodo FRITZ e MELDRUM riscontrano nelle pioggie (ma la lunga serie di Milano li contraddice); FRITZ e REIS nelle inondazioni; KÄMTZ e FRITZ nelle grandinate; MELDRUM nella frequenza dei cicloni tropicali; BEZOLD nel numero degli incendi per fulmine; BROCARD nelle invasioni delle cavallette. Insomma non c'è fenomeno, si può dire, che non sia stato posto a confronto col fenomeno solare, ma in molti casi il risultato risponde piuttosto alla buona volontà del ricercatore che alla realtà dei fatti. Anche l'autore di queste pagine s'imbattè,

senza volerlo, in un periodo undecennale delle eruzioni vulcaniche, ch'era già stato annunziato, a sua insaputa da Fritz. Certamente esiste uno stretto rapporto di dipendenza fra lo stato della superficie solare e i fenomeni meteorologici; per alcuni di questi tale dipendenza è provata fin quasi a certezza, ma per nessuno con quella certezza assoluta che abbiamo affermato pei fenomeni del magnetismo e delle aurore boreali.

Tale certezza assoluta regnava sulla fine del secolo scorso nell'ammettere un' influenza della luna non soltanto sulle variazioni irregolari del tempo, ma anche sui valori medi degli elementi meteorologici, che presenterebbero, secondo tale supposto, delle oscillazioni regolari rispondenti o al giorno lunare, come quelle delle maree, o al mese lunare, o ai movimenti dell'orbita lunare. Toaldo e Chiminello avevano fatto autorità nell'argomento, talchè la stessa *Societas palatina* credette di poter pronosticare il tempo sulle tavole della luna. Quanto alla marea diurna, che avrebbe spiegato facilmente l'ondulazione semidiurna del barometro, fu dimostrata da Laplace e da Bouvard come assolutamente trascurabile; ma Flaugergues (1827) e altri, fra i quali Sabine, Elliott e Neumayer, credettero in seguito di non poter escludere una certa marea lunare, sensibile per quanto poco rilevante, specialmente nei dati barometrici delle regioni tropicali. Sarebbe troppo lungo esporre e discutere qui tutti i periodi lunari che si credette di poter riscontrare nelle tavole meteorologiche; non soltanto nelle altezze barometriche, ma anche nelle temperature, nella nuvolosità, nelle pioggie, nei temporali.

Nè sarebbe opportuno discutere tutti i sistemi di previsioni del tempo che la superstizione, la tradizione letteraria, la speculazione, e solo in piccola parte l'osservazione diretta e continuata di fenomeni forse reali, hanno saputo fondare su questa povera luna. È un'eredità dei secoli passati che noi trasmettiamo quasi intatta al secolo futuro.

Su basi assai più solide appare fondato il periodo di circa 35 anni recentemente scoperto da Brückner sulle altezze dei mari e dei laghi chiusi, cioè senza emissario, e, come spiegazione del fatto, nella piovosità di tutte le regioni situate nell'interno dei continenti.

Le regioni litoranee presenterebbero invece, collo stesso periodo, il fenomeno inverso, sarebbero cioè piovose quando le altre sono asciutte e viceversa. Esaminando le tabelle delle altezze barometriche Brückner troverebbe la spiegazione di queste alternative di piovosità in un corrispondente periodo nella distribuzione delle pressioni atmosferiche sui continenti e sugli oceani, per la quale in alcuni anni sarebbe facilitato, in altri impedito, l'afflusso dell'aria umida dagli oceani ai continenti. Finalmente come primo anello in questa catena di periodi, l' uno dipendente dall'altro, Brückner avrebbe constatato lo stesso periodo nelle temperature; poichè le annate umide continentali, sarebbero precedute a breve intervallo da annate relativamente calde. La distribuzione delle temperature spiegherebbe quella delle pressioni, e questa quella della umidità e delle pioggie, che si rifletterebbe nei livelli dei laghi. Indirettamente questo periodo climatologico sarebbe affermato anche dalle

epoche della vendemmia e del disgelo dei fiumi boreali, e, come provò Richter, dalle oscillazioni dei ghiacciai. Il materiale di osservazioni sul quale tali deduzioni sono fondate è così esteso che lascia piccolo campo ai dubbi, i quali tuttavia non mancano.

Fin qui delle leggi, vere o supposte, che si verificano nei fatti meteorologici in quanto si succedono nel tempo; passiamo ora a considerare i fatti stessi in quanto si coordinano nello spazio, cioè nella loro distribuzione sulla faccia della terra. Questo nuovo modo di confronto può dirsi un portato del Secolo nostro, e ad esso si devono le più notevoli scoperte che hanno elevato la Meteorologia al rango delle scienze positive.

Traccia anemometrica di Langley.

Abbiamo già accennato alla *Carta delle isoterme* di HUMBOLDT; il metodo grafico così iniziato trovò e trova tuttora larga applicazione, come rappresentazione intuitiva delle condizioni climatologiche della superficie terrestre. Per mettere in evidenza le varie influenze che rendono così irregolare la distribuzione della temperatura, per le quali cioè le linee isoterme sono così disformi dai paralleli, DOVE calcolò la temperatura media o *normale* di ciascun parallelo, e quindi la deviazione (l'*anomalia*) che presenta la temperatura di una data stazione dalla temperatura normale del proprio parallelo. Riunendo con linee i punti di eguale anomalia tracciò così la *Carta delle isanomale*, che mette in evidenza l'influenza dei continenti e dei mari, delle correnti oceaniche, in modo particolare quella del *Gulf-stream*, dei ghiacci polari, dei venti dominanti. Tale rappresentazione fu ripetuta pochi anni sono da SPITALER sui dati più recenti, confermando nelle sue linee generali le risultanze di DOVE. Il fattore più efficace delle irregolarità termiche è la distribuzione irregolare delle terre e delle acque; le stesse temperature normali dei paralleli dipendono dal rapporto di acqua e di terra che ciascun di questi contiene: FORBES (1861) espresse perciò la legge di variazione delle temperature normali colla latitudine con una formola assai semplice, dove oltre la latitudine stessa entra questo rapporto, e formole analoghe furono tentate più recentemente da HANN, SPITALER e ZENKER.

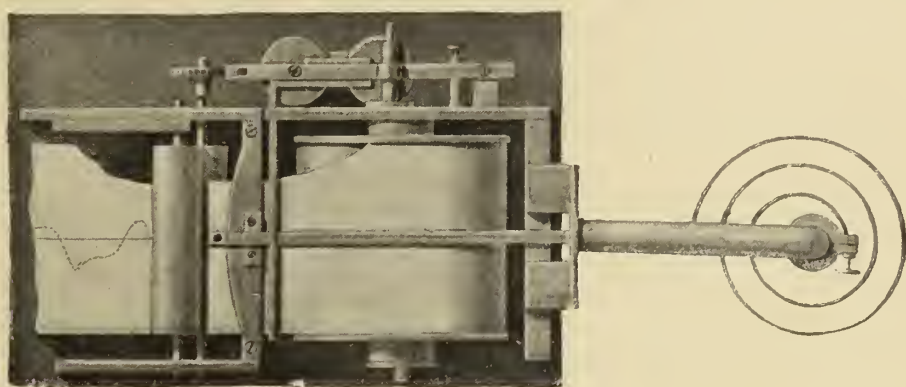
La teoria procedette ardita sulla via di queste generalizzazioni, e ormai si può affermare che la distribuzione media delle temperature sulla superficie

del globo è spiegata nelle sue linee generali. La superficie terrestre si scalda sotto l'azione dei raggi solari come la superficie di una sfera, chiusa entro un involucro non perfettamente trasparente e a temperatura uniforme, che rappresenta l'atmosfera. Il riscaldamento al di sopra di questa temperatura uniforme (che è superiore a — 50° C.) è proporzionale alla quantità di calore solare ricevuta nell'anno ad ogni latitudine, ma dipende dalla natura della superficie, terra od acqua, e dalla reciproca influenza che le aree continentali e le oceaniche esercitano fra di loro. Questa distribuzione generale è modificata dalle influenze locali, che, così separate dalle cause principali, sono facilmente spiegate.

Quanto alla distribuzione media della pressione BERGHAUS ne diede nel 1839 una rappresentazione per linee *isobare*, limitata però all'Atlantico e all'Oceano Indiano e dove le isobare sono tutte parallele all'equatore. Soltanto nel 1864 RENOU pubblicò una carta rigorosa delle isobare per l'Europa centrale e meridionale, e solo nel 1860 si ebbe la prima carta generale, tracciata da BUCHAN. A costui dobbiamo anche le più complete fra le recenti, quelle cioè pubblicate nel *Report* della spedizione scientifica della nave inglese *Challenger;* dove oltre le carte della distribuzione media annuale delle pressioni e delle temperature si hanno anche quelle delle distribuzioni medie dei singoli mesi.

Queste carte mettono in evidenza lo stretto legame che corre fra la distribuzione della pressione e quella della temperatura, legame che è grossolanamente espresso dalla seguente legge empirica di WILD: « Le isobare coincidono nei loro tratti principali colle isanomale della temperatura, spostate alquanto verso Nord-Ovest ». In generale le aree più calde sono aree di minor pressione, le più fredde di pressione maggiore; si afferma così indirettamente l'influenza della varia distribuzione di terra ed acqua sulla distribuzione barometrica nelle varie stazioni. Al di sotto di queste influenze si vedono però, specialmente nell'emisfero australe, i tratti fondamentali di una distribuzione più generale dipendente dalla condizione più generale di squilibrio termico tra l'equatore e i poli; principale tra essi una fascia d'alta pressione che circonda l'emisfero stesso intorno a 30° Lat. e dalla quale emana verso l'equatore un sistema di venti permanenti o alisei di SE. Anche nell'emisfero boreale si conservano, sull'Atlantico e sul Pacifico, i frammenti della fascia corrispondente, dalla quale emanano gli alisei di NE.

L'esistenza degli alisei era stata affermata fin dai primi viaggi di Colombo; HALLEY (1686) diede la spiegazione di questo costante afflusso d'aria verso l'equatore, in sostituzione dell'aria che ivi si solleva continuamente per effetto del riscaldamento solare; HADLEY (1735) trovò la causa della loro inclinazione da E verso W nella rotazione della terra. Questa era si può dire la sola scienza dei venti che il secolo nostro ereditava dai precedenti. La necessità, specialmente commerciale, di meglio conoscere le correnti aeree dominanti fu riconosciuta verso la metà del secolo nostro per opera di MAURY. Nominato nel 1844 Soprintendente del Deposito navale e dell'Osservatorio di Washington egli intrapprese subito la compilazione di Carte marine dei venti e delle correnti, delle pioggie e delle tempeste, raccogliendo i dati dai libri di bordo dei bastimenti mercantili e di guerra.

Ma l'opera di una sola nazione, si può dire di un uomo solo, non rispondeva all'ampiezza del programma che egli si era posto; perciò egli si fece promotore di una Conferenza internazionale per coordinare le osservazioni dando norme fisse ai capitani dei bastimenti, per salvaguardare i libri di bordo e per farne lo spoglio. La Conferenza si raccolse a Bruxelles nel 1853, e se essa non rispose allo scopo immediato pel quale era stata raccolta, diede un impulso straordinario agli studî meteorologici e idrografici. I vantaggi di siffatte riunioni, dove gli sforzi singoli dei varî stati ed individui si coordinano su un indirizzo comune, furono da quella prima messi in tal luce, che altre Conferenze internazionali si raccolsero in progresso di tempo, una delle quali a Roma nel 1879. Contemporaneamente alla Conferenza di Bruxelles Coffin pubblicava nei volumi dell'Istituto Smithsoniano di Washington una

Termografo di Hipp-Wild.

monografia e una carta dei *Venti dell'Emisfero boreale*, che è il primo riassunto di tutta l'enorme congerie di osservazioni finallora raccolte.[1]

Era naturale che nel paese dove si erano raccolti più largamente i dati di fatto intorno ai grandi movimenti dell'atmosfera, nascessero anche le prime idee coordinatrici di questi fatti in una teoria della circolazione generale dell'atmosfera. Nel 1855 Maury pubblicava la *Geografia fisica del mare* che ebbe così larga diffusione e così meritata fama in tutto il mondo civile e che fu in pochi anni tradotta in tutte le lingue europee. Ivi egli espose la sua nota teoria della circolazione aerea. Secondo questa, l'aria che si solleva nelle regioni equatoriali per riscaldamento, e che vi è sostituita continuamente dagli alisei, tende a ritornare negli strati superiori verso i poli come vento di S che diventa di SW per effetto della rotazione terrestre nell'emisfero boreale, come vento di N che diventa di NW nell'emisfero australe. Ma, dovendo la falda d'aria che così effluisce dalla zona equatoriale restringersi in zone sempre più anguste, questo ritorno rimane ben presto inceppato e l'aria stessa costretta a discendere presso terra per continuare la sua strada ai poli. Presso questi l'aria che così affluisce da tutte le parti è costretta a risollevarsi per ritornare come corrente superiore verso le latitudini più basse finché, incontrando la corrente controalisea, ridiscende, intrecciandosi colla corrente stessa che discende in senso opposto, e tornando ad alimentare la corrente alisea.

In una zona prossima a ciascun tropico egli ammetteva quindi due sistemi di correnti discendenti, incrociantisi in senso opposto senza confondersi ; ciò che l' idrodinamica non ammette come possibile, e che lo stesso senso comune avrebbe dimostrato subito come impossibile, se non avesse avuto ad urtare contro l'autorità del nome glorioso di Maury. La sua teoria fu accolta invece e dominò per parecchi anni nei testi di Geografia fisica e di Meteorologia, nonostante che fin dal 1856 un altro americano, Guglielmo Ferrel, avesse posto i primi fondamenti di una vera teoria matematica della circolazione aerea, secondo la quale la formazione di una zona extratropicale di alta pressione che limita la regione degli alisei, e oltre la quale predominano presso terra le correnti da W inclinate verso il polo, appariva come necessaria conseguenza meccanica della rotazione dell' aria intorno al polo stesso. Le memorie di Ferrel rimasero affatto ignorate in Europa, anche per la loro natura matematica, tanto che l'illustre Werner Siemens nel 1888 poteva inscientemente ripresentare, senza apparato di formole, una teoria essenzialmente rispondente a quella di Ferrel, di cui ignorava perfino l' esistenza. Si può dire che la teoria di Ferrel fu rivelata alla maggior parte dei meteorologisti d' Europa dal trattato di Meteorologia teorica pubblicato nel 1885 dallo Sprung. Sotto forma diversa, ma essenzialmente sugli stessi principi, corroborati però da una visione più fisica, meno analitica, dei fenomeni, e mettendo in miglior luce la parte che ha nella determinazione dei fenomeni stessi la distribuzione verticale e orizzontale della temperatura, espose nuovamente nel 1888 una teoria della circolazione generale dell'atmosfera il sommo Helmholtz, in una memoria più facilmente ammirata che compresa. A metodo analitico più intuitivo ritornò nello stesso 1888 Oberbeck, ponendo il problema nella sua forma più naturale: Data la distribuzione delle temperature, determinare le componenti verticale e orizzontale del movimento dell'aria in tutti i punti dell'atmosfera. Con ipotesi semplificatrici, che non tutti accettano, egli giunse a formole che esprimono tuttavia con sufficiente corrispondenza i fatti reali. A questo punto noi siamo adunque, alla fine del secolo nostro : non solo i movimenti predominanti nell'atmosfera sono noti, ma si è già quasi raggiunto lo scopo ultimo di ogni scienza, che è quello di dare una teoria dei movimenti stessi basata soltanto sui principî della meccanica.

Ma agli Stati Uniti spetta pure la gloria di aver dato la spiegazione anche dei principali fatti di dettaglio che si sovrappongono al fatto generale della circolazione emisferica dell'atmosfera e ai quali sono connessi i fenomeni più caratteristici del tempo : voglio dire le *tempeste* circolari. Nel secolo scorso Fraklin aveva constatato che le perturbazioni atmosferiche si propagano da regione a regione, e Capper in India aveva riconosciuto che le tempeste in quel paese non erano che vortici atmosferici ; ma generalmente al principio del secolo le tempeste si consideravano come fenomeni affatto locali e, salvo nel caso evidente delle trombe, come bufere rettilinee. Brandes (1810-1820) intravvide che il tempo in Europa potesse dipendere prevalentemente dallo spostarsi delle aree di bassa pressione, col relativo sistema di venti, che secondo lui doveva consistere in un movimento convergente dell'aria che tendeva a

ristabilire l'equilibrio delle pressioni; ma DOVE (1828) con una geniale veduta, applicando alla zona temperata la teoria vorticosa che spiegava le tempeste tropicali, affermò che tutti i venti dominanti nell'Europa centrale rispondevano a movimenti vorticosi.

Continuando in questo indirizzo DOVE avrebbe in breve creata la nuova Meteorologia dinamica, che spiega le variazioni del tempo collo spostamento di determinati sistemi di venti collegati a determinate distribuzioni della pressione. Le sue ricerche successive sulle variazioni non periodiche della temperatura (1838-59), ch' egli dimostrò non essere accidentali e locali nè dipendenti da cause estranee all'atmosfera (p. es. dalla luna), ma coordinate fra loro e subordinate alla direzione del vento, avrebbero così, se guidate da un concetto esatto dei sistemi principali di venti, anticipato di un trentennio i progressi della Meteorologia pratica. Disgraziatamente, egli fu deviato da un' altra teoria tutta sua personale, che, per l'autorità del suo nome, dominò completamente la Meteorologia europea per oltre trent'anni. Egli fin dal 1826 constatò il fatto che i venti dell' Europa centrale si succedono generalmente con una legge determinata, girando da N verso E a S, o da S verso W a N, nel senso cioè del mo vimento del sole o della lancetta dell' orologio e gli studî ulteriori lo portarono a riconoscere in questa una legge generale delle zone temperate, colla sola condizione che nella zona australe la rotazione era inversa.

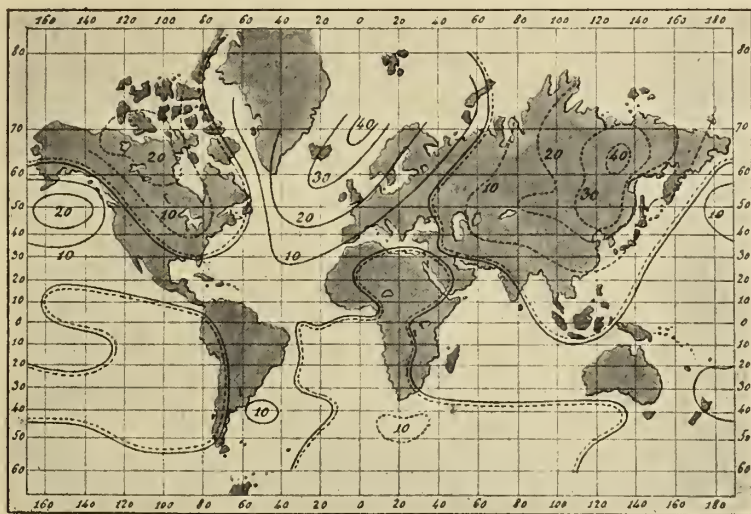
Barografo registratore.

Egli spiegò questa *Legge di rotazione* dei venti ammettendo che le correnti polari ed equatoriali, che nella zona tropicale sono sovrapposte come aliseo e contraliseo, nelle zone temperate scorrono presso terra l'una presso l'altra. In ogni stazione ora predomina il vento equatoriale (di SW nell'emisfero boreale, di NW nell'australe) ora il vento polare (di NE, SE rispettivamente nei due emisferi) e nella transizione dall' uno all' altro passano i venti intermedi. DOVE cadde quindi in un errore analogo a quello di Maury ammettendo la possibilità che due correnti in senso opposto possano coesistere l' una accanto all' altra senza confondersi, e anche qui l' autorità del nome potè per molti anni più dell' evidenza ora palmare della falsità della sua teoria.

Intanto fin dal 1831 l' americano REDFIELD pubblicava il primo de' suoi numerosi saggi sulle tempeste. Egli affermò che non soltanto gli uragani equinoziali degli Stati Uniti, ma tutte le tempeste sono grandi vortici dell'aria che si trasportano verso NE, che la bassa pressione centrale è effetto della forza centrifuga rispondente al moto rotatorio, che la *legge di rotazione* di DOVE si spiega facilmente col passaggio di una tempesta girante, a Nord del punto di osservazione. Parlando di rotazione egli lasciò intendere ai più,

benchè in qualche punto mostri palesemente che tale non era il suo pensiero, che l'aria fosse dotata di moto esclusivamente circolare, senza afflusso verso il centro del vortice; ciò diede occasione a una classica polemica con un altro fondatore della moderna meteorologia, ESPY, detto, per l'autorità acquistatasi nell'argomento il *Re delle Tempeste*. Questi aveva fatto oggetto principale de' suoi studí i movimenti convettivi, ascendenti e discendenti, dell'aria e il loro effetto sulla temperatura, e l'influenza che vi esercitava il condensarsi del vapore o l' evaporazione delle nubi. In questo campo egli precorse le teorie termodinamiche dei moti dell'aria, che enunciate nel 1860 in una memoria matematica di W. THOMSON, non ottennero il comune consenso se non dopo il 1870, dopo le memorie di HANN. Preoccupato da questo, che egli riteneva il punto essenziale del problema, nelle tempeste caratterizzate da un' area di bassa pressione, Espy dava importanza assoluta al movimento ascendente centrale, prodotto dal maggior riscaldamento che, diradando l'aria presso terra, l'obbligava a sollevarsi. Non ammetteva l'esistenza di un movimento vorticoso attorno a questa colonna ascendente, che per forza centrifuga contribuisse a diradare l' aria verso il centro, ma solo un afflusso d' aria dall' intorno, quasi, se non precisamente, radiale. Questa polemica assunse, anche da parte dei seguaci dei due campioni, una vivacità straordinaria, se non nuova, per una discussione scientifica; mentre al di fuori di essa nella giusta posizione intermedia LOOMIS iniziava quella lunga serie di memorie pazienti e affatto obbiettive colle quali per un periodo di circa mezzo secolo continuò a raccogliere fatti e a ricercarne, senza preconcetto teorico, le leggi generali. Su questi fatti FERREL istituiva pel primo una teoria matematica dei cicloni, destinata anch'essa a rimaner ignorata per molti anni. Intanto anche gli inglesi REID, PIDDINGTON e THOM consacrarono la loro attenzione allo studio delle tempeste circolari, che Piddington pel primo chiamò *cicloni*, dal punto di vista specialmente pratico, nautico, dando le regole ancora in uso per governare la nave in loro vicinanza.

Tra i meteorologisti europei cominciava lentamente la reazione alla scuola di Dove, per opera specialmente di BUYS-BALLOT. Questi per mezzo di carte affatto primitive (mentre in America già erano in uso le carte rappresentative del tempo per mezzo delle isobare e della direzione del vento) riuscì a scoprire e ad enunciare due leggi che, dal punto di vista meccanico, sono affatto elementari, ed erano già implicite nelle teorie matematiche di Ferrel, ma che, appunto pel loro significato meccanico, che pareva aprire un nuovo orizzonte di vedute, e forse più ancora perchè parevano in contraddizione alla legge di Dove, furono accolte come i fondamenti di una nuova scienza meteorologica. Le due leggi sono: 1.° Sull' emisfero Nord il vento soffia in modo che se noi lo riceviamo alle spalle la mano sinistra sollevata e inclinata un po' verso l'avanti segna la regione di minor pressione, e la destra spinta un po' all'indietro quella di maggior pressione; 2.° La forza del vento è tanto maggiore quanto maggiore è la differenza di pressione da destra a sinistra. La prima porta il nome del suo nuovo scopritore, essendo comunemente nota come la *Legge di Buys-Ballot*; egli ha infatti, se non altro, il merito di averla enunciata in modo così intuitivo, mettendone in evidenza l'immediata applicabilità pratica.

Non si può infatti considerare come effetto semplicemente del caso se, poco dopo la comunicazione delle sue leggi fatta da Buys-Ballot all'Accademia di Parigi nel 1857, Leverrier riuscì a istituire in Francia il sistema delle *carte del tempo*, nelle quali coi dati raccolti telegraficamente da tredici stazioni era rappresentata per mezzo di isobare e isoterme la distribuzione della pressione e della temperatura, e per mezzo di segni convenzionali quella degli altri elementi meteorologici (vento, pioggia, neve, ecc.) in una data ora del giorno. La forma delle isobare, che si possono costruire anche su dati non molto numerosi, permette infatti, mediante le leggi di Buys-Ballot, di indovinare ordinariamente la direzione e la forza dei venti dominanti in

Carta delle Isanomale di Dove.

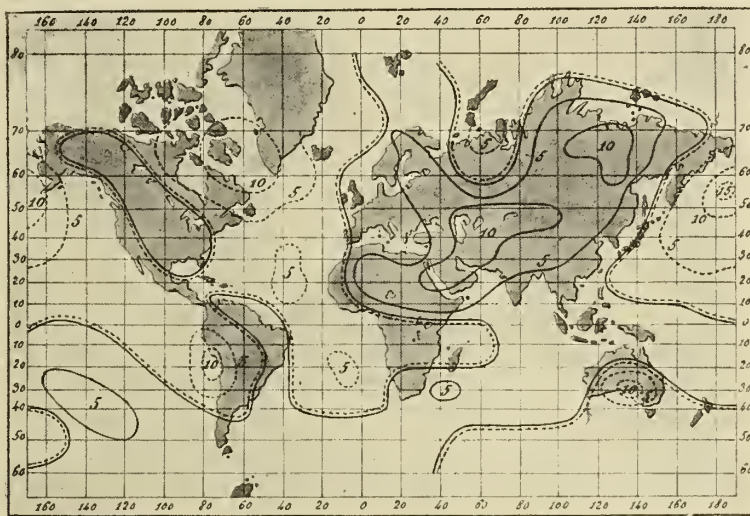
ogni punto, e poichè in molti casi è facile, specialmente nel caso di aree cicloniche, prevedere le modificazioni e gli spostamenti che le isobare subiranno in breve periodo di tempo, è facile prevedere a breve intervallo le modificazioni del vento in particolare e del tempo in generale. Così sorse il moderno metodo di previsione del tempo, basato sulla rappresentazione grafica dello stato dell' atmofera in un dato momento per mezzo di *carte del tempo*, sulla interpretazione di dette carte per mezzo delle leggi di Buys-Ballot, e sulla induzione, che soltanto la lunga pratica può suggerire, delle possibili modificazioni che le carte stesse possono subire in breve intervallo di tempo.

Fin allora la rappresentazione grafica, specialmente della pressione, era stata fatta soltanto per avvenimenti meteorologici passati, onde studiarne la natura, e in generale solo per lo studio particolare delle tempeste cicloniche. L'idea di raccogliere il più presto possibile i dati attuali, che potessero permettere una previsione del futuro, era balenata fin dal 1784 al genio di Lavoisier, e un progetto d'attuazione era stato presentato alla Costituente del 1793 da Romme, che proponeva di usare come mezzo di comunicazione il telegrafo ottico di Chappe; ma il progetto fu travolto nel turbine politico. Dopo l'invenzione del telegrafo elettrico di Morse (1837) sorse spontanea l'idea di valer-

sene anche a tale scopo; pare che il primo progetto in proposito sia stato fatto da Kreil nel 1842, ma la prima applicazione, imperfetta tuttavia, siasi avuta in America per opera specialmente di Espy. Leverrier estese in breve le sue carte a tutta l'Europa occidentale, dando così l'esempio a tutti i paesi civili, i cui Istituti meteorologici pubblicano ora giornalmente una o più carte del tempo dominante a date ore della giornata non solo nel paese stesso, ma nei paesi circostanti, su dati che si comunicano reciprocamente, carte corredate da previsioni sul tempo che potrà dominare entro la giornata e prepararsi per la giornata successiva.

Le leggi di Buys-Ballot e l'iniziativa di Leverrier segnano adunque il principio di una nuova era nella Meteorologia europea. Per un decennio ancora la scuola di Dove resistette al nuovo indirizzo, ma al fine dovette cedere all'evidenza e riconoscere come le Legge di Rotazione del vento non fosse che la manifestazione, per l'Europa centrale, del frequente passaggio di aree di depressione sull'Atlantico e sull'Europa settentrionale. Da allora lo studio delle condizioni meteorologiche si ridusse, e si riduce tuttora, principalmente allo studio dei varî *tipi isobarici,* ossia delle varie forme che assume il sistema delle isobare su una vasta estensione, e delle speciali manifestazioni del tempo che s'accompagnano a ciascun tipo. Per parecchi anni lo studio si limitò al tipo più caratteristico e al quale si accompagnano le manifestazioni più forti e più temute, il *tipo ciclonico;* ogni capriccio di tempo era un ciclone, e poichè di molte aree cicloniche dell'Europa occidentale si poteva risalire il cammino fino all'altra sponda dell'Atlantico, a tre, quattro giorni prima del loro arrivo fra noi, si potè nutrire fiducia di avere telegraficamente il preavviso del giungere di ogni tempesta europea. Lo studio ulteriore dimostrò che i fenomeni sono assai più complessi, che altri tipi isobarici, oltre il *ciclonico* e il suo opposto, detto perciò *anticiclonico* (definito da isobare chiuse intorno a un'area di alta pressione) possono presentarsi; che la struttura orografica del paese può influire nel modificare i tipi isobarici e le loro manifestazioni e nel crearne di speciali; che il cammino e la durata e la forma delle aree cicloniche non sono mai ben determinati, cosicchè da un giorno all'altro un centro ciclonico può essersi trasportato in tutt'altro posto che non si prevedesse, o scomparire, o deformarsi in modo inopinato, o scindersi in due e più centri e così via; che alcune manifestazioni più spiccate del tempo, come alcune classi di temporali e certe bufere inopinate non rispondono a tipi isobarici ben determinati, o questi tipi si formano repentinamente piuttosto come effetto che come causa della perturbazione, o sono così limitati nella loro estensione che sfuggono al tracciato isobarico che è descritto soltanto a grandi tratti per vaste estensioni di paese.

Questa constatazione della complessità dei fenomeni, mentre dà allo studioso di Meteorologia la sicurezza di aver trovato il *suo metodo* di ricerca, che gli permette di riconoscere nelle leggi generali i fenomeni di dettaglio, i quali completano, senza contraddire le leggi stesse, gli impongono necessariamente una grande cautela nel rispondere alle esigenze della folla dei profani, che avevan sperato di poter pretendere da lui la previsione a lunga scadenza. Da ciò un certo aumento di diffidenza che in questa fine di secolo

è venuta a circondare l'opera della Meteorologia scientifica, e un conseguente risveglio di antiche e sorgere di nuove superstizioni e imposture. Una previsione un po' generica e a breve scadenza è tuttavia già possibile, come già si disse, specialmente nei paesi dell'Europa occidentale e centrale che sono fiancheggiati da altri paesi civili e dall' Atlantico il cui regime meteorico è assai più semplice. Così per la Germania van Bebber potè tracciare una carta dei cammini più frequentemente battuti dai centri ciclonici, e stabilire in base ai fenomeni precorrenti, quale di esso sarà battuto in ogni singolo caso. Lo stesso dicasi per gli Stati Uniti, dove la Meteorologia pratica seguendo le sue gloriose tradizioni, disponendo di larghi mezzi ed essendo favorita dalle condizioni particolari del paese in gran parte pianeggiante, raggiunge risultati per noi finora insperabili. Per l'Italia infatti fiancheggiata dal bacino irregolare del

Carta della Isanomale di Dove.

Mediterraneo e fiancheggiata a est e a sud da paesi meno civili, divisa inoltre, in regioni geograficamente così diverse, come la valle del Po, l'Italia peninsulare e l'insulare, le condizioni sono assai più complesse e indeterminate. Fors'anche mancò qui quell'unione di tutte le forze, quella concordia d'indirizzo tra i cultori della Meteorologia, che sa sovrapporsi alle tendenze individualistiche regionali e perfino di partito così spiccate nel nostro paese, e che sono disastrose in ogni ramo di studio, ma particolarmente in quelli che, come la Meteorologia, hanno un oggetto così esteso e complesso; e l'Ufficio centrale di Roma che dovrebbe essere il centro di questa unione smarrì forse nella *routine* burocratica la visione del suo più elevato scopo scientifico.

Indipendentemente dallo scopo pratico i progressi fatti dalla nuova Meteorologia collo studio delle *Carte del Tempo* in quest'ultimo trentennio furono veramente straordinarî, e qui sarebbe troppo lungo esporli in dettaglio. Nella grande molteplicità delle forme isobariche si riconobbe la prevalenza di alcune poche forme tipiche contraddistinte ciascuna per ciascun paese da speciali caratteri del tempo. Sarà ufficio principale della Meteorologia pratica del

Secolo XX quello di assegnare i tipi prevalenti in ciascun paese e, se possibile ricercare le leggi che governano il passaggio da un tipo all'altro.

Ma per quanto utile e fecondo possa essere questo studio formale, dirò così schematico, delle vicissitudini atmosferiche in quanto si riflettono nella distribuzione delle pressioni, non potremo dire di averne un concetto completo se non arriveremo a penetrarne l'intima fisiologia, e a indurne di qui le cause mediate o immediate. Anche su questa via l' ultimo trentennio ha segnato passi da gigante, ma la meta è ancora lontana. Nonostante i citati lavori di Loomis e quelli di Vettin, di Clement Lev, di Hildebrandsson, di Köppen, di Hann, sulla distribuzione dei venti, dell'umidità, delle nubi, delle pioggie, dei fenomeni temporaleschi, della temperatura nel corpo e nell'interno dei cicloni e degli anticicloni anche a varie altezze fino al più alto strato dei cirri, non si può dire che l'intima natura e la genesi di questi tipi atmosferici, e le cause del loro movimento e delle loro trasformazioni siano note. Certamente non è piccolo risultato quello di aver potuto formulare perfino matematicamente, colle formole della meccanica e della termodinamica, le leggi principali del moto ciclonico e anticiclonico e della distribuzione della temperatura e delle pioggie intorno ad essa. Una memoria di Guldberg e Mohn (1876-80) fu il primo tentativo del genere in Europa, seguito da altre di Oberbeck, di Diro-Kitao, di Sprung, dello scrivente, di Pockels, di Ekholm, ecc., mentre erano risvegliate dall'oblìo le classiche memorie di Ferrel. Nè risultato meno importante è quello di aver constatato, sulle traccie di Espy e di Thomson, che le leggi che governano la distribuzione verticale delle temperature e le trasformazioni del vapore acqueo sono esclusivamente le leggi della termodinamica; che p. es. la formazione di nubi e pioggie è vincolata prevalentemente a moti ascendenti dell'aria, mentre i moti discendenti invece di portarci il freddo delle alte regioni dell'atmosfera ci portano in generale aria secca e calda. Con tali leggi rievocate e condotte alla loro espressione più completa da Reye, Hann, Herz e von Bezold, molti fatti che parevano strani ebbero la loro più naturale spiegazione: p. es., l' estrema secchezza del vento alpinonoto in Isvizzera sotto il nome di *föhn*.

Col sussidio di questi principî teorici pareva che il problema fondamentale della Meteorologia, quello della natura e della genesi dei cicloni e degli anticicloni fosse risolto. Un ciclone era essenzialmente ed esclusivamente vincolato ad un moto ascendente d' aria calda in una colonna centrale; un anticiclone a un moto discendente centrale prodotto dall' intenso raffreddarsi degli strati inferiori presso terra: la loro origine si riteneva quindi presso terra, in un riscaldamento o raffreddamento locale. È vero che una scuola francese, capitanata da Faye, sosteneva vivacemente la teoria opposta, dell'origine dei vortici aerei nelle alte correnti dell'atmosfera e della loro penetrazione fino a terra, ma a dir vero gli argomenti, ai quali più s'appoggiava, parevano ai più contrari in modo evidente ai fatti. Tuttavia nel 1890 Hann, studiando il tempo ciclonico e anticiclonico nelle alte stazioni di montagna delle Alpi, dimostrò che in media la colonna d'aria nel centro di un ciclone è più fredda di quella nel centro di un anticiclone; che quindi

la teoria semplicemente convettiva non basta a spiegare la formazione dei due tipi; che questa deve cercarsi piuttosto nei movimenti generali dell'aria. Pare infatti naturale che le grandi correnti aeree presentino dei vortici ascendenti e discendenti come le minori correnti acquee. Rimane tuttavia oscura la ragione del mantenersi così a lungo, e del moversi per così lungo cammino della maggior parte dei vortici ascendenti (*cicloni*) mentre i vortici discendenti

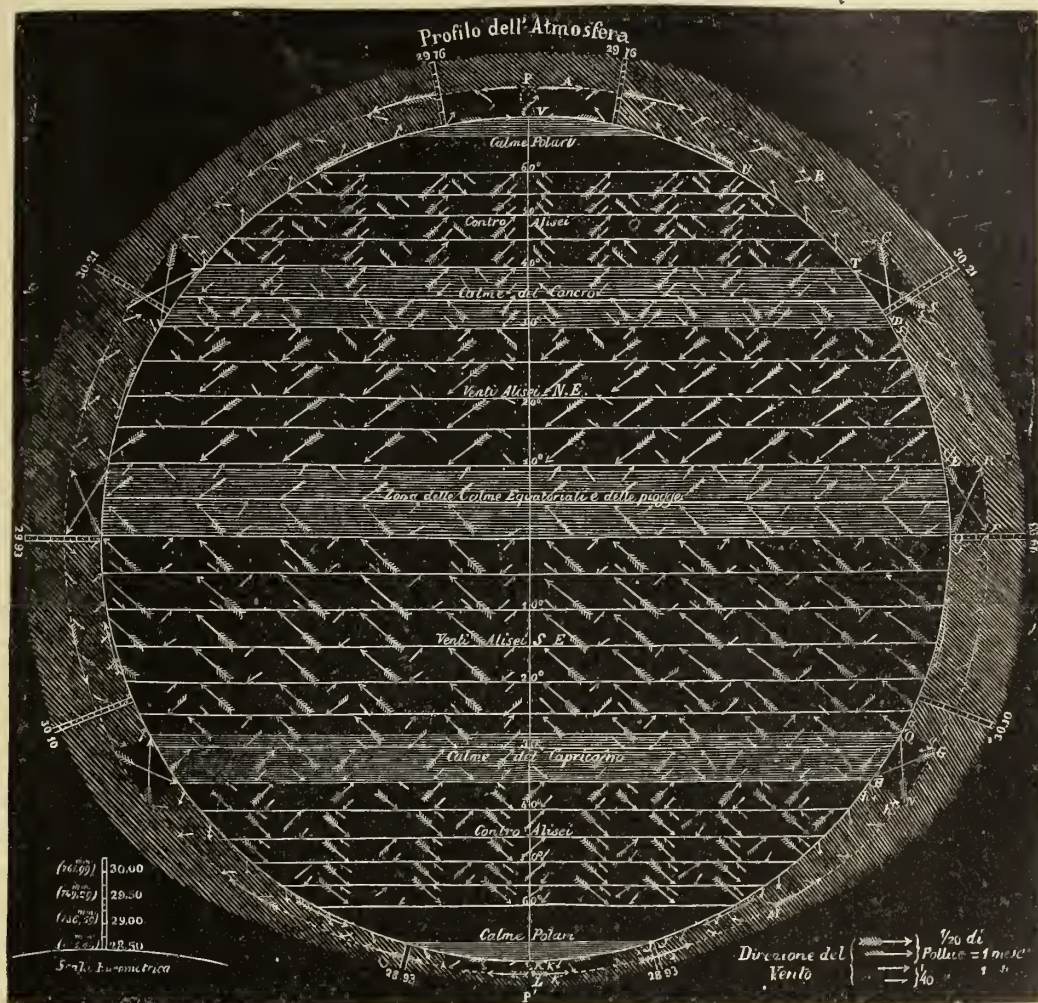



Diagramma della circolazione aerea di Maury.

(*anticicloni*) sono quasi fissi in luogo e più passeggieri in tempo; nè sappiamo di sicuro se l'energia alimentatrice di questi movimenti debba cercarsi esclusi vamente, come vogliono ora i più, nella grande macchina della circolazione generale dell'atmosfera o non anche (e principalmente, com'io sarei portato a ritenere) nel preesistente squilibrio di temperatura mantenuto fra le basse e le alte latitudini e che il vortice ciclonico tende a diminuire.

Una risposta decisiva a questi e ad altri problemi fondamentali della Meteorologia non si potrà ottenere se non quando si conoscano meglio le condizioni di temperatura, di umidità e di movimento nell'interno della tem-

pesta, e in generale di ogni tipo meteorologico, determinandole non soltanto presso terra, ma anche a varie altezze.

Le osservazioni in montagna possono rispondere solo in parte a questo scopo, e solo per quanto riguarda la distribuzione della pressione: per la temperatura, per l'umidità, per il vento, per l'elettricità atmosferica, l'influenza della regione montuosa circostante è troppo predominante. Perciò, per quanto interessanti possano essere i risultati di osservazioni alpine (specialmente se continuate regolarmente in stazioni apposite, anche durante la stagione invernale), in quanto dànno gli elementi della climatologia alpina, per la meteorologia dinamica essi non hanno grande valore. Così, mentre sui dati del più antico osservatorio di montagna, che è quello annesso all'Ospizio del S. Bernardo, e dal loro confronto con quelli di Ginevra, PLANTAMOUR cavò importanti deduzioni climatologiche, essi non diedero finora alcun lume sul rapporto meteorologico fra i due versanti delle Alpi, e quindi alcun sussidio alla previsione del tempo per la valle del Po, e ciò specialmente per il fatto che l'Ospizio è situato in un'angusta gola diretta da SW a NE e non presenta quindi, per qualunque distribuzione di pressione, che questi due venti. In questi ultimi decenni si riconobbe la maggior opportunità degli osservatori di vetta o di cresta. Il più alto (oltre 5700 m.) è quello di El Misti nel Peru, fondatovi dal Collegio Harvard degli Stati Uniti, il più completo è finora quello del Sonnblick nelle Alpi austriache a 3106 m. d'altezza; il più ardito quello fondato nel ghiaccio sulla vetta del Monte Bianco da JANSSEN. Poco più sotto di questo funziona già da parecchi anni un osservatorio privato del sig. VALLOT che pubblica un Annuario. L'Italia vanta già due osservatorî regolari sul-l'Etna e sul Cimone, e da pochi anni la Capanna Margherita sul Monte Rosa, oltre molte stazioni ad altezze minori.

Grandi speranze aveva fatto nascere sul principio del secolo la scoperta dei palloni aerostatici. La prima ascensione a scopo scientifico fu quella di JEFFRIES e BLANCHARD a Londra nel 1784; in essa per la prima volta fu constatato il fatto che la temperatura diminuisce in media di $^1/_2$ grado ogni 100 m. e che l'umidità diminuisce coll'altezza; ma essa non raggiunse che i 2800 m. Seconda in ordine di tempo, ma che suscitò interesse assai più romoroso in tutta Europa, fu quella di ROBERTSSON nel 1803 ad Amburgo, che toccò i 7400 m. Questa e la successiva di SACHAROFF a Pietroburgo eccitarono l'Accademia di Francia a tentare un'ascensione modello, agguerrita di tutti i mezzi più delicati per lo studio dell'atmosfera, che fu affidata a due scienziati di grido quali BIOT e GAY-LUSSAC. GAY-LUSSAC ne fece una seconda ancora solo nel 1804, JUNGIUS a Berlino nel 1805, e BRIOSCHI a Padova nel 1806; ma tutte assieme non diedero tuttavia quei risultati scientifici che si erano sperati, talchè per lungo tempo non si credette che il profitto scientifico pagasse il rischio. Bisogna discendere infatti fino al 1850 per ritrovare altri viaggi aerei a scopo scientifico, quelli di BARRAL e BIXIO; i cui risultati però parvero allora poco attendibili, specialmente per la temperatura di — 39°,7 che sarebbe stata incontrata a 7000 m. e che le più recenti osservazioni fanno

apparire invece come affatto probabile. Con programma sistematico, e adoperando per la prima volta un termometro a ventilazione, fece una serie di ascensioni nel 1852 l'inglese WELSH; ma le serie più complete e che nel trentennio dal 1860 al 1890 diedero la base a tutte le nostre cognizioni e teorie fisiche dei fenomeni dell'alta atmosfera sono quelle di GLAISHER dal 1862 al 1869. Risultato principale ne fu la convinzione diffusa che, salvo circostanze eccezionali, la temperatura andasse diminuendo coll'altezza, ma sempre più lentamente, cosicchè, mentre presso terra la diminuzione per 100 m. di sollevamento era di quasi 1° C., a 7000 m. d'altezza era minore di 0.°2. Tale convinzione MENDELEEF formulò nel 1875 colla sua nota legge, secondo la quale temperatura e pressione diminuiscono proporzionalmente tendendo la prima al limite di — 36°, che rappresenterebbe la temperatura ai confini dell'atmosfera. Tali risultati parevano confermati anche dalle posteriori ascensioni di FLAMMARION, TISSANDIER, DE FONVIELLE alle quali si debbono anche preziose contribuzioni intorno ai fenomeni ottici, alla costituzione delle nubi e alla sovrapposizione di correnti aeree opposte. Ma una vera rivoluzione nella Meteorologia aerostatica fu portata in quest'ultimo decennio dalle società aeronautiche di Berlino e Monaco sussidiate dall'Accademia di Berlino e dall'Imperatore di Germania. Ascensioni arditissime, fino a 9400 m., fatte cogli strumenti più perfezionati e discusse con rigore condussero a un concetto delle condizioni d'equilibrio dell'atmosfera assai diverso da quello ormai radicato. La temperatura non va diminuendo regolarmente e con progressione decrescente coll'altezza, ma presenta assai spesso salti bruschi, dove sono a contatto strati d'aria a temperature sensibilmente diverse, e assai spesso con *inversione di temperatura*, essendo lo strato superiore più caldo dell'inferiore. Alla superficie di contatto, quando i due strati siano dominati da movimenti discordi si formano onde, di cui HELMOHOLTZ diede la teoria, e che spiegano alcune caratteristiche forme di nubi, e alcuni fenomeni temporaleschi. Ma il fatto finora più singolare messo in evidenza dalle ascensioni più elevate è la rapida diminuzione di temperatura negli strati più alti. A 7000° m. furono letti — 37°.5, prossimi ai — 39° di Barral e Bixio, a 9150 m. toccati da BERSON nel 1894, i — 47°.9. Più su l'uomo non è mai arrivato, ma arrivano in questi ultimi anni gli strumenti registratori portati da palloncini liberi, secondo la geniale iniziativa dei francesi HERMITE e BESANÇON. Il primo lanciamento di un siffatto pallone-scandaglio fu fatto nel 1893, e fu seguito a breve distanza da altri con metodi e strumenti sempre più perfezionati. Si toccarono così perfino i 18000 m. d'altezza, indicata da barografi registratori,

Giacomo Espy.

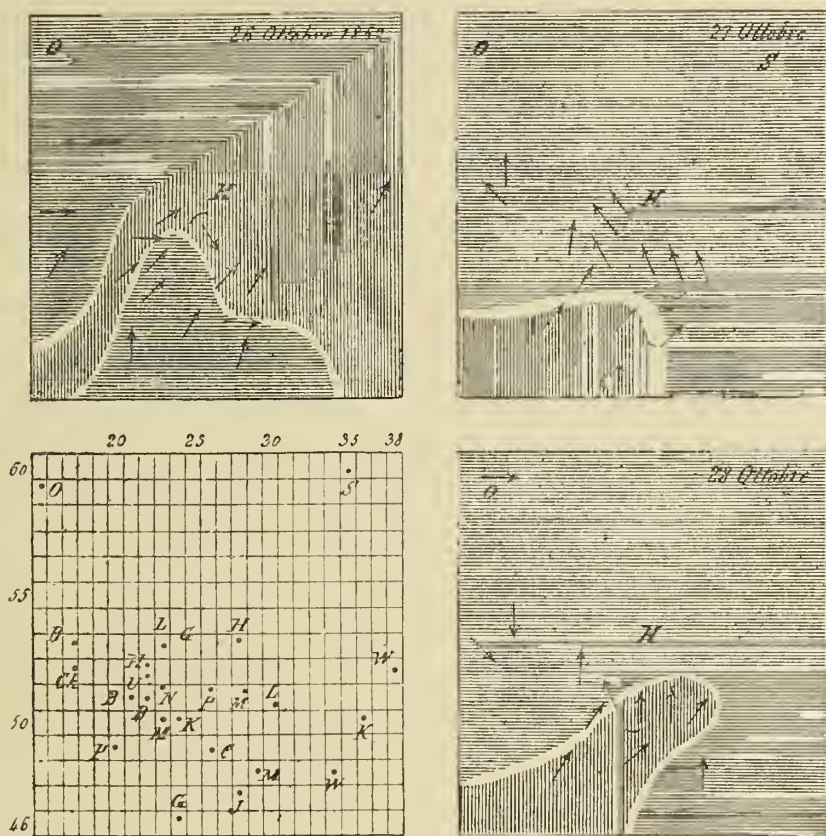
e il termografo (sul modo di interpretare il quale, trattandosi di un apparecchio in condizioni rapidamente variabili, tuttavia si discute) toccò i — 70° a 15500 m. ed è certamente una temperatura errata in eccesso. Risultati così straordinari e in così stridente contraddizione colle idee che parevano più stabilmente fondate eccitarono, com'è naturale, l'interesse di tutti gli studiosi dell'atmosfera. Già l' iniziativa di Hermite e Besançon è seguita in Germania e in Russia, e lo studio dell'aeronautica in generale anche per le sue applicazioni all'arte militare, ha ricevuto in questi ultimi tempi un impulso straordinario. Nella Conferenza Meteorologica del 1896, a Parigi, fu nominato un Comitato internazionale per il progresso dell'aeronautica, e già parecchi giornali speciali della materia si pubblicano in Francia, in Germania, in Italia.

Per gli scopi più immediati della Meteorologia pratica sarebbero però speciale interesse, più che le osservazioni fuggevoli di un aeronauta in viaggio, quelle a altezze fisse e ad epoche determinate per mezzo di palloni frenati ; ma poichè queste sono costose e ad esse bisognerebbe rinunciare appunto nei periodi più interessanti di forti perturbazioni atmosferiche, comincia ora a farsi strada un altro metodo di osservazione a varie altezze , per mezzo dei *cervi volanti*.

Il primo che imaginò di applicare questo trastullo da bambini allo studio delle alte regioni dell'atmosfera fu notoriamente il Franklin colla sua storic esperienza del 22 giugno 1748, colla quale constatò l'identità dell' elettricità artificiale e dell' atmosferica. L' anno dopo il Prof. W. Wilson di Glasgow ottenne la temperatura a grandi altezze per mezzo di un termografo a minimo sollevato in alto da un aquilone.

L'idea fu risollevata e applicata verso il 1830 per opera specialmente di Espy che fondò sulle sue osservazioni dell'altezza delle nubi e dei movimenti delle alte correnti per mezzo di aquiloni le sue teorie, già indietro ricordate, intorno alle correnti atmosferiche e alle tempeste. Nel 1847 all'Osservatorio di Kew furono tentate la prima volta con questo mezzo da Birt e Ronalds misure di temperatura e di umidità, ma il tentativo non parve dare risultati soddisfacenti, e il cervo volante cadde in discredito come strumento meteorologico. Ma in questi ultimi anni egli ricevette una solenne riabilitazione per opera specialmente degli americani, Cleveland Abbe, Mc Adie, Eddy, Rotch e Marvin ; attualmente l' osservatorio di Blue Hill diretto dal Rotch fa osservazioni regolari di temperatura a 1500 , 2000, 3000 e anche più metri di altezza, e l'esempio sta per essere seguito in Francia, in Russia, in Germania e si spera anche in Italia, che ha elevate stazioni di montagna come l' Etna e il Cimone , che sarebbero opportunissime basi per lanciare aquiloni fino a notevoli altezze. Questi risultati straordinarî sono dovuti in gran parte ai miglioramenti ottenuti nella costruzione del cervo volante, che gli diedero una stabilità assai maggiore nel mobile campo dell' atmosfera. Non è più il fazzoletto di seta disteso su due legni in croce come usava Franklin, ma, secondo la recente disposizione dell' australiano Hargrave perfezionata dai meteorologi americani, due leggiere casse di tela divise interiormente in celle, e costrutte a qualche distanza l'una dall'altra su una me-

desima intelaiatura di legno. Pare che questo strumento sia chiamato a rendere servizi straordinarî alla Meteorologia, dando modo di studiare regolarmente le condizioni fisiche e i movimenti dell'aria in aperta atmosfera fino a quelle altezze entro le quali si svolgono i principali fenomeni del tempo. Finora esso è diretto specialmente, come nella prima esperienza di Franklin, allo studio della temperatura e della *Elettricità atmosferica.*

Era questo un argomento che alla fine del secolo scorso eccitava al sommo grado la curiosità degli studiosi e dei dilettanti. Subito dopo l'esperienza di

Carta del tempo di Buys Ballot.

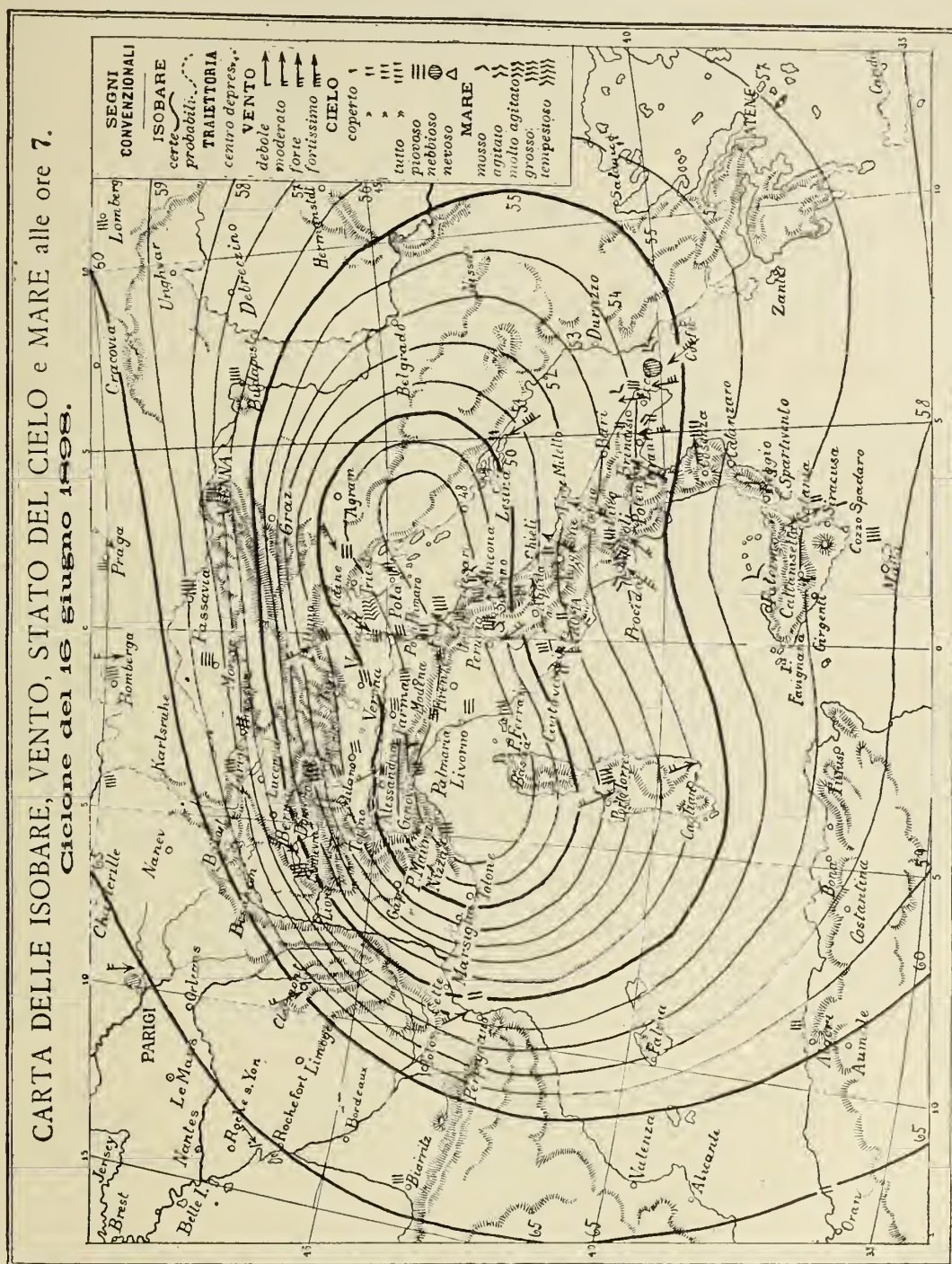
Franklin, Lemonnier dimostrò nel 1752 che l'atmosfera è carica di elettricità non soltanto durante i temporali ma anche in tempo sereno, e la determinazione e misura di questa elettricità e delle sue variazioni periodiche o passeggiere formò oggetto preferito di studio dei più celebrati fisici: basti citare i nomi di Canton, del padre Beccaria, di Wilson, di van Musschenbroek, di Henley, di Cavallo, di Saussure e infine del sommo Volta. Questi nelle sue celebri lettere *Sulla Meteorologia elettrica* al prof. Lichtenberg, pubblicate nel 1787, segnalava nel suo *elettrometro a pagliette* un primo strumento di *misura* dell'elettricità di cui si studiavano prima di lui soltanto le manifestazioni qualitative; di più dimostrava l'opportunità di applicare alla punta

dell'asta esploratrice dell'atmosfera una fiammella, che, provocando un moto convettivo attorno alla punta stessa, scarica continuamente l'elettricità opposta a quella atmosferica che viene indotta nel metallo, lasciando questo carico dell'elettricità omologa a quell'atmosferica.

Su un principio analogo è fondato il collettore elettrico inventato molti anni dopo da Thomson (Lord Kelvin), e che è ora in uso, nel quale la corrente d'aria è sostituita da un filo d'acqua gocciante da un recipiente isolato, cosicchè in breve tempo tutta la massa d'acqua del recipiente assume lo stato elettrico dell'aria ambiente. Questo è determinato con elettrometri assai più delicati, che dànno misure assolute, e che registrano da sè, mediante un raggio luminoso che intacca una lastra sensibile, le variazioni dell'elettricità atmosferica; ma non è meno sorprendente perciò la semplicità di mezzi colla quale il nostro sommo apriva questo nuovo orizzonte di ricerche. Con una semplice canna da passeggio, alla quale applicava l'asta metallica munita all'estremità di un cerino, e con un filo metallico che staccandosi dall'asta stessa conduceva al suo elettrometro a pagliette, egli era in grado di esplorare in qualunque punto, dandone misure comparative, lo stato elettrico dell'aria. La giustezza delle sue vedute non fu riconosciuta quanto si meritava, perchè altri metodi meno sensibili e meno rigorosi di esplorazione furono ideati in progresso del secolo da Peltier, Lamont, Delmann, Palmieri, che tutti esploravano l'atmosfera con una specie di sferetta d'assaggio, e ne determinavano l'elettricità indotta mediante elettrometri, o colle deviazioni da essa prodotte su un ago magnetico, o su bilancie elettriche. A queste variazioni del metodo Voltiano, che doveva risorgere perfezionato soltanto sullo scorcio del secolo, si deve forse se alla fine di questo noi siamo ancora ben lontani dall'avere un concetto esatto della natura e delle leggi dell'elettricità atmosferica.

Fin dal principio del secolo, per merito specialmente di Schübler di Tubinga, che raccolse un ventennio di osservazioni, era messo in evidenza il periodo diurno dell'elettricità dell'aria che risponde quasi esattamente al periodo diurno della pressione barometrica, con due massimi e due minimi, e il periodo annuo col massimo invernale e il minimo estivo. Fin poi dai tempi di Lemonnier, di Beccaria, di Saussure e di Volta si sapeva che in tempo sereno l'aria è costantemente elettrizzata positivamente, e che solo la presenza di nubi e specialmente la pioggia può portare manifestazioni di elettricità negativa. Si sapeva inoltre che le manifestazioni erano tanto più sensibili quanto più in alto si facevano le osservazioni. La generale applicazione della matematica ai fenomeni naturali portò anche nel campo dell'elettricità atmosferica una più rigorosa definizione di concetti, per opera specialmente di Hankel e Thomson, che introdussero come misura fondamentale la diminuzione di potenziale per unità di lunghezza lungo la verticale, grandezza che presso terra è proporzionale alla carica elettrica della superficie terrestre quando la terra si consideri come un conduttore carico. Tale concetto risponde a una rappresentazione espressa fin dal principio del secolo da Ermann, ripetuta da Peltier e ora generalmente accettata, secondo la quale l'atmosfera non ha in condizioni normali una carica propria di elettricità, ma opera come un dielettrico che avvolge un globo conduttore carico di elettricità negativa.

Questa elettricità si dissipa in parte entro il coibente aereo, sia per scariche silenziose, sia pel trasporto materiale delle polveri elettrizzate che si sollevano nell'aria, sia finalmente per le masse di vapore che continuamente si innalzano dalle acque terrestri. Al condensarsi di questi vapori in nubi, secondo

CARTA DELLE ISOBARE, VENTO, STATO DEL CIELO e MARE alle ore 7.
Ciclone del 16 giugno 1898.

Aitken intorno ai nuclei di pulviscolo, si condensa l'elettricità negativa che le pioggie ricondurrebbero in basso a ricaricare il grande conduttore terrestre. I periodi diurno ed annuo risponderebbero a variazioni del coefficiente di

dissipazione dell' aria, variazioni che secondo Exner seguirebbero i periodi dell'umidità atmosferica. Invece Arrhenius e v. Bezold considerano le variazioni dell' elettricità atmosferica come variazioni della carica del conduttore terrestre, prodotte dalla radiazione solare, poichè è fenomeno ormai constatato che la luce ultra-violetta scarica l'elettricità negativa. Nè l'una nè l'altra delle spiegazioni risponde però interamente ai fatti, specialmente per ciò che riguarda il periodo diurno.

Ancor più misteriosi rimangono finora i fenomeni e le cause dell' elettricità temporalesca, che sembra di un ordine affatto diverso dell' elettricità normale.

La sorgente di una massa così enorme di elettricità quale si manifesta nelle scariche (lampi e fulmini), e che è valutata pari a quella di una batteria costituita da milioni di elementi, rimane sempre un'incognita, e le forme stesse di queste scariche sono assai varie e notevolmente diverse da quelle che può assumere una scintilla di una forte macchina elettrica; certamente essa è piuttosto da paragonarsi alla scarica disruptiva per la rottura del dielettrico di un condensatore. Abbiamo infatti forme a zig, zag, diramate, diffuse, o superficiali che illuminano repentinamente estese nubi o regioni di cielo, e forme globulari. Quest' ultime, affatto straordinarie, furono per molto tempo messe in dubbio come illusioni, ma ormai la loro realtà può ritenersi provata; anzi Planté riescì a darne una riproduzione sperimentale.

Anche gli effetti di queste scariche sui corpi colpiti sono spesso così bizzarri che è difficile immaginarne una spiegazione; non basta a spiegarli un violento passaggio di elettricità, ma bisogna ammettere una scarica assai più complessa, probabilmente oscillatoria, che si propaga soltanto sulla superficie dei conduttori, producendo però nell' interno di questi e dei conduttori circostanti induzioni molteplici ora innocue, ora disastrose.

La funzione dei parafulmini appare quindi ora assai più complessa di quella che non apparisse al principio del secolo, quando si credeva di poter rendere inoffensiva qualsiasi nube, e allontanare la grandine scaricando tacitamente l' elettricità del cielo con un sistema di punte e di corde di paglia distribuite sui campi *(paragrandini)*; ora anche i parafulmini più elevati e meglio collocati non rappresentano una garanzia assoluta, poichè se una buona canalizzazione può evitare le frequenti inondazioni, non può guidare il cammino di una valanga, o arrestare l' onda che si rovescia al rompersi di una diga.

Ho accennato alla *grandine* come a fenomeno nel quale abbia parte necessaria l'elettricità, e tale si riteneva generalmente sul principio del secolo, per la celebre teoria di Volta. Questi ammetteva che parte delle goccioline sospese nell'atmosfera si congelasse, pel raffreddamento prodotto dalla rapida evaporazione delle altre, in piccoli nuclei o cristalli di ghiaccio; questi, trovandosi tra due nubi fortemente elettrizzate in senso opposto, sarebbero costretti a oscillare lungo tempo dall' una all'altra come palline di sughero fra due lastre orizzontali messe in comunicazione coi poli di una macchina elettrica, e perciò si ricoprirebbero di strati successivi di ghiaccio, pel vapore che si condensa

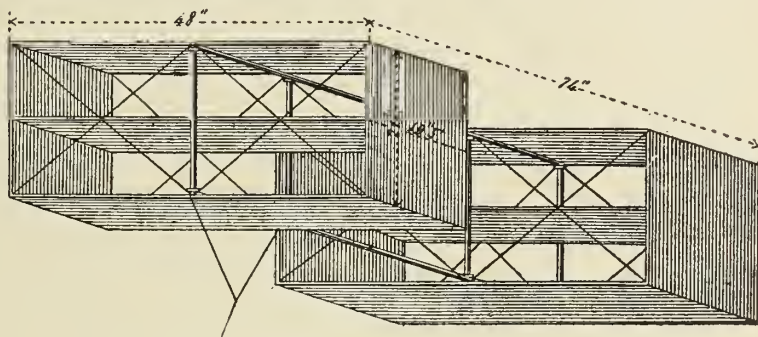
loro attorno, finchè il loro peso giunge a tale che l'attrazione elettrica non basta a sostenerle. Tale teoria corretta recentemente da MARANGONI in alcuni punti giustamente criticati dal BELLANI e da altri, ha tuttavia pur sempre carattere d'artificiosità. Altre teorie attribuiscono il raffreddamento congelatore alla rapida diradazione dell'aria che si verifica nell'interno di vortici aerei ad asse verticale o ad asse orizzontale il cui rapido movimento rotatorio contribuisse a mantenere per qualche tempo sospesi e quindi a ingrossare i ghiacciuoli. Altre finalmente attribuiscono il rapido congelamento a forti correnti ascendenti, che si rendono manifeste nelle nubi torreggianti dette *cumuli*, e che solleverebbero rapidamente prima il vapore, poi le goccioline d'acqua fino a altezze dove la temperatura è inferiore allo zero, e dove le goccie stesse possono tuttavia conservarsi ancora per certo tratto liquide, in istato di soprafusione, ghiacciando poi d'un colpo. Questa teoria ideata fin dalla fine del secolo scorso dal francese DE CARLA, fu risollevata poi da VON BUCH ed HUMBOLDT, e completata di nuovi argomenti dal nostro BELLI; recentemente fu rimessa in onore dal VON BEZOLD.

Aquilone cellulare.

Nessuna delle teorie ricordate risponde però completamente a tutti i problemi che presenta il fenomeno della grandine; da ciò l'accoglienza dubbiosa che i fisici moderni fanno ai nuovi (se ne fecero anche nel secolo scorso) tentativi di combattere questo flagello mediante spari di mortai, perchè, ignorandosi il segreto diformazione, non osano sperare che siasi trovato il segreto di distruzione di questa meteora. Tuttavia la Medicina ci dà troppi esempi di siffatte vittorie, perchè si debba disperare; l'esperienza sola, continuata a lungo, e senza preconcetti entusiasmi, può dire l'ultima parola.

Se giusta alcune teorie è la grandine un fenomeno elettrico, secondo altre è l'elettricità temporalesca il prodotto dell'attrito dei ghiacciuoli contro le goccioline d'acqua, conforme a una nota esperienza di FARADAY; tale è il fondamento principale degli studi di SOHDCKE e LUVINI.

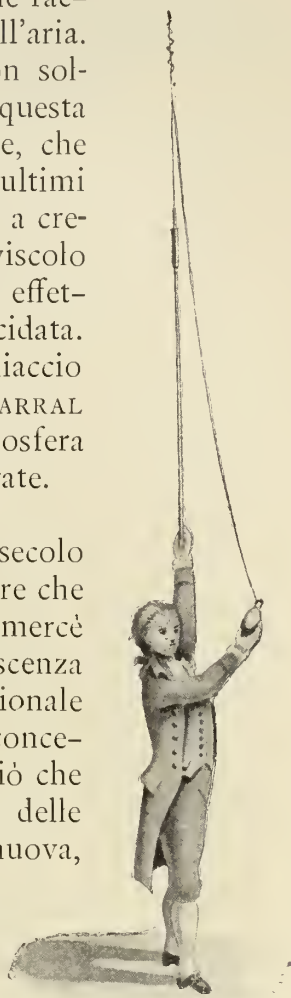
Del resto, il problema della grandine si connette a quello più generale dei *temporali*, la cui teoria non può dirsi ancora formata. Chiamasi generalmente *temporale*, come ai tempi di BECCARIA, quel complesso di fenomeni atmosferici che si palesano in un corpo di nuvoli che diano manifestazioni elettriche; ma se queste manifestazioni siano elemento essenziale o accessorio della perturbazione ancora si dibatte. Nella prima metà del secolo si riteneva che un temporale fosse sempre prodotto da riscaldamento eccezionale degli strati inferiori dell'aria, ma ora si ammettono invece con HILDEBRANDSSON due categorie di temporali: questi citati, così detti *di caldo*, che si formano special-

mente nelle ore calde del giorno e nei mesi caldi dell'anno, e quelli detti *ciclonici*, perchè sono un corredo assai frequente delle perturbazioni cicloniche. Le condizioni dinamiche di queste due categorie sono essenzialmente diverse.

I primi sono contraddistinti nelle carta del tempo da una distribuzione barometrica quasi livellata, nella quale si formano leggiere depressioni e alte pressioni generalmente allineate lungo una linea N S che si avanza per lungo tratto di paese; le isobare lungo questa linea o si piegano bruscamente a zig-zag, o si rompono in una serie di curve chiuse intorno a piccoli centri di depressione. I secondi sono invece contraddistinti da un protendersi delle isobare chiudenti una grande depressione ciclonica in una saccatura più o meno ristretta e allungata che si sposta rotando intorno al centro principale del ciclone. Più caratteristica è la differenza che si legge nei tracciati barografici: il passaggio di un temporale di caldo è segnato da una sporgenza acuminata (*naso del temporale*) fra due leggiere incavature della curva; il passaggio di un temporale ciclonico è contrassegnato invece da nn repentino innalzamento permanente della curva barografica, che forma al momento del passaggio del temporale un gradino. Secondo queste curve la definizione dirò così barometrica di un temporale sarebbe adunque un'onda passeggiera o permanente di alta pressione, estesa su una fronte larghissima, generalmente arcuata, e che si propaga colla velocità di parecchie decine di chilometri all' ora. A che debba attribuirsi questa rapida condensazione dell'aria, se a una rapida discesa dell'aria superiore che provocherebbe una corrente ascendente davanti al temporale, dove la pressione è minore, formando così un gran vortice ad asse orizzontale, o al raffreddamento portato dalle precipitazioni, o alle trasformazioni del vapore acqueo, o all'assieme di queste ed altre cause ignote, non possiamo affermare con sicurezza.

Lo stesso dicasi delle cause e delle leggi della loro propagazione che non può attribuirsi, come abbiam visto dei cicloni secondo la teoria dominante, alle correnti superiori, ma deve piuttosto considerarsi come la propagazione di un'onda sulla superficie di divisione di due strati d'aria di densità diversa, secondo la teoria di HELMHOLTZ, o di un'onda elastica di condensazione come dimostrò possibile lo scrivente.

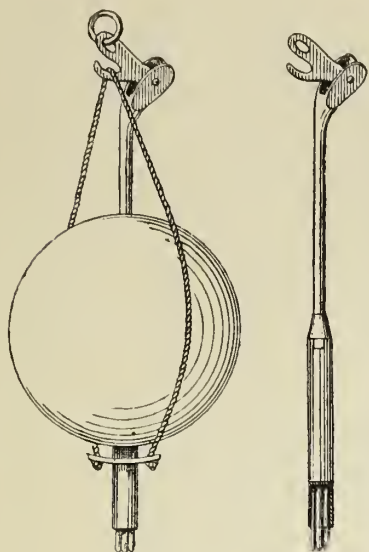
Un altro campo ancora non interamente esplorato di Fisica dell'atmosfera è lo studio della varia costituzione delle nubi, sul quale soltanto potrà basarsi una loro classificazione razionale. È noto come in principio del secolo LUKE HOWARD abbia tentato pel primo una tale classificazione, basandosi quasi esclusivamente sui caratteri esteriori delle masse nuvolose, ai quali rispondono però in generale anche diversità funzionali, di guisa che è possibile assai di frequente fondare una breve previsione del tempo dall' aspetto del cielo. I cumuli temporaleschi, i cirri prodromi di vento, gli strati apportatori di pioggia tranquille e i nembi gravidi di pioggie torrenziali sono tipi notissimi di nuvole. La fine del secolo non porta, di vantaggio sul principio, che una classificazione più minuziosa e una definizione più rigorosa, data più che a parole dalla rappresentazione fotografica delle forme diverse. Ma la spiegazione fisica di queste diversità d'aspetto, la quale dovrà cercarsi specialmente nella diversa

condizione e dimensione degli elementi acquei che costituiscono la nube, non si può dire data ancora in modo evidente. È noto che nel secolo scorso e per tutta la prima metà di questo secolo si ammetteva che il vapore visibile fosse in uno stato *vescicolare*, come di piccole bollicine racchiudenti aria rarefatta o altri gas o vapori più leggieri dell'aria. Il SAUSSURE nella sua Igrometria adduceva argomenti non soltanto induttivi, ma anche d'osservazione, a sostegno di questa teoria. Ad essa prima si è sostituita la teoria più semplice, che il vapore visibile fosse costituito da goccioline; in questi ultimi tempi, dopo le osservazioni di AITKEN, si è portati invece a credere che ogni gocciolina abbia un nucleo solido di pulviscolo atmosferico, senza il quale la condensazione non potrebbe effettuarsi. Ma la questione non può dirsi completamente dilucidata. Così pure le forme e i modi di formazione degli aghi di ghiaccio che costituirebbero i cirri, e che secondo l'osservazione di BARRAL e BIXIO potrebbero anche trovarsi in estesi strati nell'alta atmosfera senza essere visibili da terra, non sono interamente spiegate.

Da questo rapido sguardo sui progressi ottenuti nel secolo nostro nei varî rami della Meteorologia, possiamo concludere che si sono fatti passi da gigante nei metodi di osservazione, mercè il perfezionamento degli strumenti e una più perfetta conoscenza di ciò che si deve osservare; che la cooperazione internazionale ha allargato la visione dei fenomeni e resa possibile la concezione di leggi più generali, le quali permettono perfino (ciò che è l'ideale di una scienza) la previsione a breve scadenza delle condizioni più generali dell'atmosfera. Una scienza affatto nuova, la *Meteorologia dinamica*, è sorta e giunta così a maturità in meno di cinquant'anni. Eguali progressi non si possono riconoscere nella *Meteorologia fisica*, che ricerca l'essenza dei fenomeni atmosferici, cercando di ridurli alle leggi della fisica. Ciò dipende nella maggior parte dei casi dalla difficoltà di studiare i fenomeni stessi nel campo dove si svolgono, cioè nelle alte regioni dell'atmosfera; in parte però io crederei di doverlo attribuire al fatto che la costituzione di una Meteorologia come scienza a sè, con istituti e cultori proprî, ha disinteressato i cultori della Fisica dallo studio dei fenomeni dell'atmosfera, mentre gli specialisti della Meteorologia non hanno la preparazione e i mezzi adeguati a siffatte ricerche sperimentali. In questi ultimi anni pare tuttavia che tale distanza fra meteorologisti e fisici vada scomparendo; è a sperare perciò che il secolo XX lasci al suo successivo un bagaglio assai minore di problemi insoluti.

Misure dell'elettricità atmosferica secondo Volta.

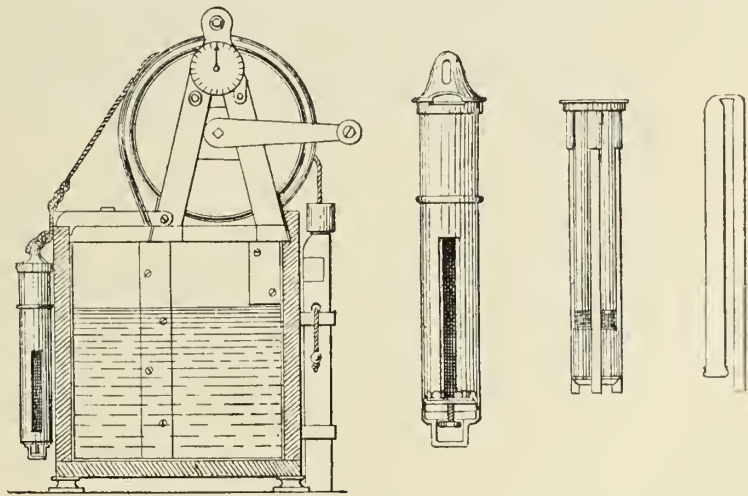
LA FISICA DEL MARE

La Scienza del mare, od *Oceanografia*, può chiamarsi il più recente fra i corpi di dottrina che in questi ultimi tempi hanno assunto dignità di scienza a sè, per una unità di soggetto che in sè concentri una grande molteplicità di fatti, di teorie e di applicazioni. In questo caso il soggetto unificatore è il *mare*, in tutte le manifestazioni della sua vita fisica e biologica. Noi qui ci occuperemo soltanto della vita fisica, e quindi solo di quel ramo dell'Oceanografia che domanda alla Fisica i mezzi di studio e di ricerca, onde rappresentare e spiegare le condizioni d'equilibrio e di movimento della grande massa di acqua che avvolge il globo, nonchè la funzione che essa esercita nella distribuzione del calore e dell'umidità alla superficie della terra, e nella lenta ma continua trasformazione delle terre emerse.

Anche questo ramo di studî può dirsi nato nel secolo nostro, anzi nella seconda metà di esso. Se noi apriamo i trattati di Geografia fisica della fine del secolo scorso, p. es. quello di Bergmann o le lezioni di Kant vi troviamo scarse notizie sul livello marino, sulla salsedine, sul colore delle acque, sulle correnti e sul flusso e riflusso del mare; nulla di più, ed espresso con minor rigore di metodo, che non si trovasse più di un secolo prima in Varenius. Mancavano gli strumenti fondamentali, perfino lo scandaglio per misurare le profondità. Si lanciavano bensì dei pesi attaccati a corde di canape, ma non si conoscevano le molteplici cause d'errore portate dall'allungarsi della corda, dalle deviazioni prodotte dalle correnti, dalla difficoltà di segnare il momento preciso in cui il peso tocca il fondo. Così si erano attribuite profondità spaventevoli ad alcune regioni dell'oceano, dove non s'era toccato fondo con oltre 15000 metri di scandaglio e in generale il rilievo topografico del fondo era falsato radicalmente. Dobbiamo agli ufficiali della marina degli Stati Uniti sotto la direzione di Maury i primi studî sulle leggi di discesa di uno scan-

Scandaglio di Brooke.

daglio in acque profonde, studî che portarono nel 1854 all'invenzione dello *scandaglio a peso perduto* di Brooke, nel quale una grossa palla di cannone si stacca dalio scandaglio al momento in cui esso tocca fondo, momento che è perciò segnalato dal rallentarsi del filo. Non è qui il caso di indicare tutti i miglioramenti dati in seguito all'apparecchio il quale ha piuttosto importanza per la topografia che per la fisica del mare. Merita soltanto menzione per la originalità del principio lo scandaglio ideato da Sir William Thomson (Lord Kelvin) nel quale la profondità è determinata dal volume che assume sotto la pressione crescente la massa d'aria contenuta in un tubo. Un miglioramento tecnico di grande importanza fu la sostituzione di un filo d'acciaio (corda da pianoforte) alla corda di canapa; esso è assai più resistente, non si allunga, e presenta un attrito assai minore sia nell'acqua, sia sulla ruota da cui si svolge, e che si può manovrare assai facilmente, accelerando o rallentando la discesa, con un freno a nastro.

Questi miglioramenti resero assai più facile anche il rilievo termico delle profondità marine, mediante appositi termometri applicati, a determinate distanze, lungo il filo di scandaglio. Anche in questo campo si tentennò lungamente senza risultato

Nel secolo scorso si tentava di determinare le temperature profonde raccogliendo in vasi poco conduttori, e colla massima rapidità possibile, campioni d'acqua a profondità diverse. Nei primi anni del secolo nostro si inaugurò da Horner, al seguito della famosa spedizione Krusenstern (1803-1806), il sistema di immergere un termometro a massimo e a minimo, sistema che fu imitato da Ross e da altri, ma che non poteva dare risultati molto rigorosi perchè non si teneva conto, o non si riusciva a eliminare, l'enorme pressione che la massa d'acqua sovrincombente esercitava sull'involucro vitreo falsando completamente le misure. Quindi, nonostante le numerose determinazioni di temperature profonde in varie regioni oceaniche, non

Apparecchi per gli scandagli termometrici.

si ebbero dati sicuri che a partire dal 1869 quando il Comitato incaricato dalla Società Reale di Londra di preparare gli strumenti per la campagna oceanografica del *Porcupine* adottò il termometro a massimo e minimo MILLER CASELLA, a doppio involucro con intercapedine riempita in parte di alcool amilico che fa da cuscinetto protettore dell' involucro interno contro la pressione subita dall' involucro esterno. Ma un termometro a massimo e minimo non ci dà la temperatura esattamente, bensì soltanto in via approssimativa, entro certi limiti. Perciò fu segnalato come un progresso significante l' invenzione del termometro a rovesciamento dei meccanici italiani NEGRETTI e ZAMBRA, residenti a Londra (1873). Il termometro presenta appena al di sopra del bulbo una strozzatura in corrispondenza alla quale la colonna di mercurio può spezzarsi, se lo strumento riceve una scossa. Quando adunque il termometro, che si è messo in equilibrio di temperatura coll'ambiente, venga repentinamente rovesciato, la colonnina di mercurio che sovrastava alla strozzatura, e la cui lunghezza è proporzionale alla temperatura, si stacca e scorre all'altra estremità del tubo, la quale porta una graduazione che segna immediatamente il grado di temperatura che il termometro aveva all'istante del rovesciamento. Il termometro ha doppio involucro colla intercapedine riempita in parte di mercurio per mantenere il bulbo in immediata comunicazione conduttiva coll'acqua ambiente. Per ottenere il capovolgimento il termometro è introdotto in un' armatura metallica girevole intorno a un asse che è più basso del centro di gravità del sistema, in modo che quando la sua estremità superiore sia lasciata libera, si capovolge da sè. Durante la discesa l'estremità superiore è mantenuta fissa da una spina metallica che forma l' asse di una piccola elica; ma appena si incomincia a risollevare l' apparecchio, l' elica urtando contro l' acqua gira in modo da sollevare la spina e liberare l' apparecchio. Anche questa disposizione ora generalmente adottata devesi a un italiano, il contrammiraglio MAGNAGHI.

Si idearono anche apparecchi termoelettrici, ed anche termometri elettrici basati sul principio che la conduttività elettrica di un filo varia colla temperatura, ma si dimostrarono di difficile e non sicura applicazione.

Oltre la temperatura importa conoscere la composizione e il peso specifico dell'acqua sia alla superficie, sia a varie profondità. Per raccogliere acqua alla superficie basta immergere un secchio, facendolo rimorchiare per un certo tempo dal bastimento onde eliminarne tutti gli elementi estranei e metterlo in equilibrio di temperatura coll'acqua ambiente. Per raccogliere campioni di acqua profonda si sono immaginate varie bottiglie a chiusura automatica delle quali sarebbe troppo lungo fare qui la descrizione. Dei campioni raccolti si studia la composizione chimica e si determina il peso specifico per mezzo di areometri.

Il *peso specifico* dell'acqua marina dipende da due elementi: dalla temperatura e dalla salsedine; esso cresce col diminuire della prima e col crescere della seconda, e viceversa. Ma si ha cura di eliminare il primo elemento riducendo la temperatura a uno stesso grado determinato, cioè a 17°.5 (come usano i Tedeschi, o a 60° Fahr. (15°.6 C.) come usano gli inglesi, o, come sarebbe più razionale a 4° C. che è la temperatura del massimo di densità.

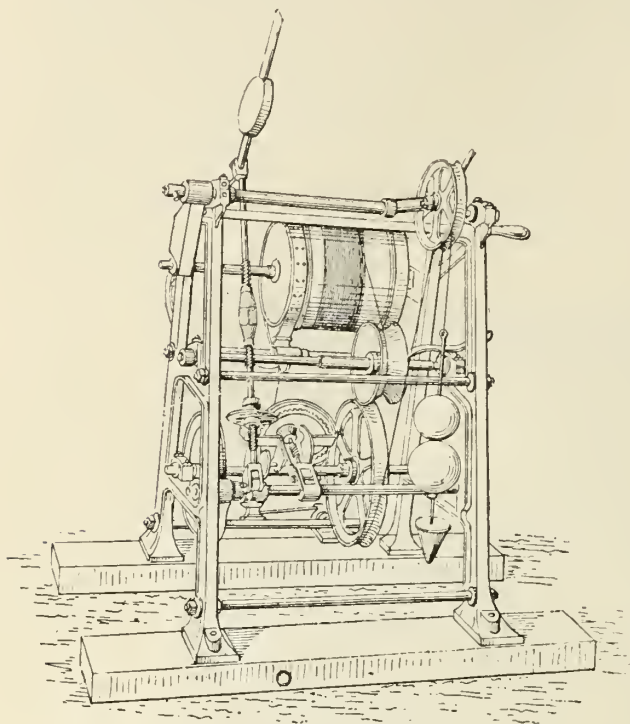
Allora la salsedine (ossia la percentuale di sali contenuta in un'unità di peso d'acqua) dipende, mediante una relazione molto semplice, dal peso specifico.

I dati finora raccolti di siffatti elementi sono relativamente assai scarsi, perchè, come già si è detto, soltanto in questi ultimi decennî si sono abbastanza perfezionati gli strumenti e i metodi a ciò necessari. Dopo la citata spedizione del *Porcupine*, l'Inghilterra ne intraprese un' altra ben più grandiosa, quella del *Challenger* durata dal 7 dicembre 1872 al 27 maggio 1876, che diede risultati insperati in tutti i rami della oceanografia fisica e biologica. Quanto noi conosciamo delle condizioni dirò così statiche della gran massa oceanica nelle sue varie parti, cioè della distribuzione media, orizzontale e verticale,

Laboratorio di naturalisti a bordo dello « Challengeo ».

della temperatura e della salsedine si deve prevalentemente a quella campagna, che costituisce uno dei principali titoli di civiltà per l'Inghilterra. Basti dire, pur limitandoci al principale degli elementi fin qui accennati, che il volume dei *Reports* della spedizione del Challenger, che si riferisce alle misure di temperatura, dà una raccolta di 258 tavole ciascuna delle quali dà il diagramma di uno scandaglio termometrico.

L'esempio dell'Inghilterra fu seguito dagli altri paesi marittimi, ciascuno pei mari contigui. Prima fra tutte per tempo e importanza dev'essere ricordata la spedizione norvegese del *Vöringen*, durata parte di tre anni tra il 1876 e il 1878, nell'Atlantico settentrionale fra 55° e 80 Lat. N. Gli strumenti di cui essa disponeva erano ancor più perfetti di quelli del Challenger, e le discussioni, fatte da MOHN, dei dati meteorologici e oceanografici sono veri modelli, per rigore di metodo e vastità di vedute. L' Italia non è ultima in queste ricerche; le campagne idrografiche della R. Marina nel Mediterraneo

hanno dato, oltre il rilievo esatto dei mari italiani, una ricca messe di dati fisici. Ma specialmente benemerito in questi ultimi anni, oltre l'Ufficio idrografico del Dipartimento Navale degli Stati Uniti, che deve la sua origine a MAURY nel 1844 e che, seguendo l'impulso da lui ricevuto, si occupa principalmente delle correnti aeree e marine che interessano la navigazione, è l'Osservatorio marittimo tedesco (*Deutsche Seewarte*) di Amburgo i cui Manuali di Navigazione (*Segelhandbuch*) dei diversi oceani hanno, oltre lo scopo immediatamente pratico, una portata scientifica di primo ordine.

Argano per gli scandagli profondi.

Per quanto scarsi, relativamente alla vastità del campo di studio, siano i dati finora raccolti, noi possiamo fin d'ora farci una rappresentazione assai più completa ed esatta, che non fosse, non dico al principio del secolo, ma alla morte di HUMBOLDT, delle condizioni fisiche e dinamiche della gran massa oceanica ne' suoi varî bacini.

Quanto alle condizioni fisiche, il fatto più notevole che si è messo in sodo è la temperatura relativamente assai bassa, fra 0° e 3° C., che s'incontra al di sotto di una certa profondità oceanica sotto tutte le latitudini. Questo fatto era già stato constatato da LENZ nella seconda spedizione russa di Kotzebue (1823-26), e poi dal capitano DU PETIT THOUARS nel viaggio di circumnavigazione della Venus (1836-38), ed è infatti valutato al suo giusto valore nel Cosmos di HUMBOLDT; ma era stato, si può dire, dimenticato, anche perchè altre osservazioni parevano in aperta contraddizione con esso; tali quelle di DUMONT D' URVILLE (1826-29) e quelle più celebri di Ross, le quali miravano a far credere che da 1000 m. all' ingiù l' oceano avesse una temperatura costante di 4° C. Ciò pareva anche conforme alle proprietà fisiche dell'acqua che intorno a 4° ha un massimo di densità, come se tale proprietà deil'acqua pura fosse verificata anche per l'acqua salsa. Invece posteriori esperienze hanno dimostrato che il massimo di densità dell'acqua marina, contenente da 2 a 4 $_0$/° di sali è al di sotto dello 0°, e tanto più quanto maggiore è la salsedine; ma non può andare al disotto di — 2° o — 5°.0 perchè a queste temperature l'acqua marina gela.

Le osservazioni raccolte in tutti i bacini oceanici profondi, hanno trovato infatti temperature di fondo comprese fra 2° e — 2°.5. Ciò è vero però solamente per gli oceani aperti, in libera comunicazione tra loro, dalla zona equatoriale alle polari, non per i mari interni che, come il Mediterraneo,

siano congiunti all'oceano da stretti angusti o da rilievi subacquei che impediscono la comunicazione tra gli strati profondi. In questi bacini chiusi, la massa acquea ha assunto, anche negli strati più profondi, una temperatura assai più elevata, dipendente dalla temperatura invernale della regione ambiente. Così nel Mediterraneo presso lo stretto di Gibilterra da 400 m. a oltre 4000 si riscontra una temperatura lentissimamente decrescente da 12°.7 a 12.2 mentre al di là dello stretto, nell' Atlantico, la temperatura decresce fra le stesse quote di profondità da 12°.5 a 3°.0. Questa differenza sostanziale fra i mari chiusi e l'oceano aperto ci dimostra che in quest'ultimo le condizioni termiche degli strati profondi non dipendono soltanto dallo scambio di calore e dal ricambio convettivo cogli strati soprastanti, ma anche e sopratutto da un ricambio tra le regioni oceaniche equatoriali e le polari, pel quale le acque riscaldate alla superficie nelle prime fluiscono lentamente verso le seconde, e le profonde di queste fluiscono lentamente verso le prime. Quanto più la comunicazione coi mari polari è libera tanto più basse sono le temperature profonde nelle latitudini medie e tropicali, così nel Pacifico australe e nell'Oceano indiano sono generalmente inferiori a quelle dell'Atlantico settentrionale le cui comunicazioni coll'Oceano artico sono intralciate da un sensibile rilievo subacqueo fra l'Islanda e le isole Faröer.

La constatazione di questo fatto, dell'esistenza cioè di uno strato d'acqua a temperatura quasi uniforme, prossima allo 0°, dello spessore medio di

Marea sulla costa del Mar del Nord.

parecchie migliaia di metri, che avvolge la maggior parte della superficie terrestre a oltre 1000 m. sotto il livello del mare, ha aperto nuove vedute intorno alla evoluzione del nostro globo. È certo che questa immensa massa d'acqua rappresenta un potente moderatore delle variazioni termiche della terra, in quanto non permette sulla massima parte della superficie oceanica

raffreddamenti sensibili al di sotto dello 0° C. Essa ci rappresenta inoltre un legato climatologico delle ere anteriori della storia della terra, il *trait-d' union* fra il clima attuale e quello delle epoche antecedenti, poichè a determinare la temperatura di questo strato hanno concorso le vicende climatologiche anteriori, come il clima attuale modificando lentissimamente la temperatura stessa, sta preparando una delle condizioni fondamentali dei climi futuri.

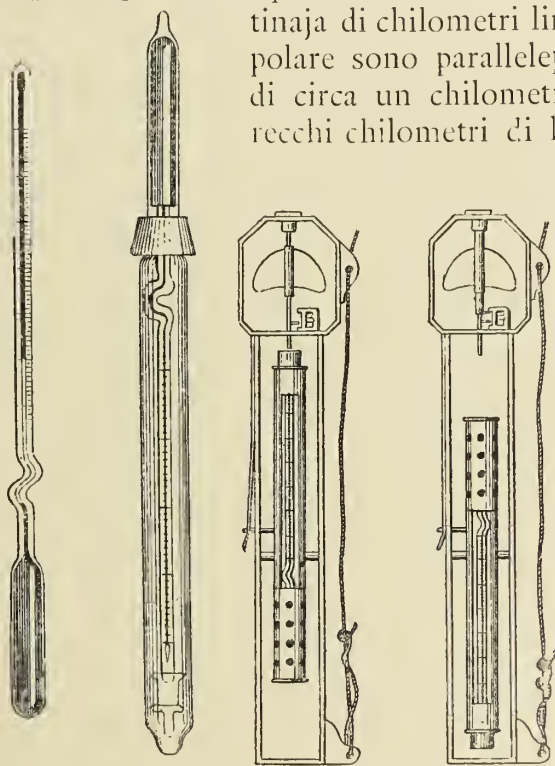
Un altro fatto importante messo in evidenza dalle misure di temperatura oceanica profonda è la possibilità che strati d'acqua più fredda sovrastino ad altri d' acqua più calda, e che uno strato freddo sia intercalato fra strati caldi e viceversa. Ciò si verifica specialmente nei mari polari dove l'acqua superficiale proviene in gran parte dallo sciogliersi dei ghiacci ed essendo quindi più leggiera, perchè meno salsa, si distende sopra l' acqua più calda, ma più densa di sali, che proviene dalle latitudini inferiori.

Le condizioni d'equilibrio nella grande massa oceanica sono quindi assai più complicate di quelle che vedremo verificarsi nelle masse lacuali d' acqua dolce, e difficilmente possono essere tutte assieme verificate, perchè le continue variazioni di temperatura alla superficie, l'evaporazione, le pioggie, le variazioni barometriche, i venti, i movimenti ondosi, il formarsi e lo sciogliersi dei ghiacci e mille altre circostanze concorrono a mutarle continuamente. La massa stessa dev' essere quindi in continuo rimescolamento che tende a ristabilire l' equilibrio continuamente disturbato. Le leggi di questi movimenti interni della massa oceanica debbono essere conformi a quelle dei movimenti atmosferici, come avrebbe già all'ingrosso dimostrato Mohn, che determinò la distribuzione delle pressioni e i corrispondenti movimenti a varie profondità. Ma a conclusioni più concrete non si potrà arrivare che con dati ulteriori relativi oltre che alla temperatura, alla densità e finchè non si sarà trovato modo di risolvere il problema finora insoluto della determinazione della gravità in alto oceano.

Finora si possono dire sufficientemente note soltanto le condizioni alla superficie. Le carte delle isoterme sono andate continuamente completandosi, così che ora si può ritenere sconosciuta soltanto la regione antartica, che sarà oggetto di particolari ricerche nei primi anni del Secolo Ventesimo, essendo già in corso di preparazione imponenti spedizioni scientifiche a tale oggetto. Per l'oceano artico fin' oltre l'80° di Latitudine le numerose spedizioni polari hanno fornita una cospicua copia di materiali, e la gloriosa spedizione di Nansen fiin oltre l'86° ha dato le basi di una ragionevole induzione per la rimanente regione filo al polo.

Una prima carta della distribuzione superficiale della densità fu redatta da Buchanan sui dati del Challenger; essa conferma le prime conclusioni di Lenz, secondo le quali le acque più dense formano a mare calmo due zone tropicali, attorno al grado 22° nell'emisfero boreale, attorno al 18° nell'australe, ossia presso a poco nella regione degli alisei che, essendo venti asciutti, favoriscono l' evaporazione, onde è diminuita la proporzione di acqua pura e aumenta quindi la percentuale dei sali. L'analisi di questi sali fu oggetto di una serie innumerevole di ricerche, che andarono continuamente perfezionandosi col perfezionarsi dei metodi chimici, a cominciare da quelle di Bergmann (1778)

a quelle assai estese di FORCHHAMMER (1865) e di DIEULAFAIT (1880) che collo spettroscopio riuscì a rilevare 25 milionesimi di grammo di boro, e 5 milionesimi di litina nel vapore dato da meno di un centimetro cubo di acqua del Mediterraneo. È ormai constatata nell'acqua marina la presenza di una trentina di corpi semplici in varie combinazioni, tra le quali predominano i cloruri, i carbonati e i solfati. Anche i gas dell'aria, ossigeno, azoto e acido carbonico si trovano disciolti in proporzioni diverse nell'acqua di mare; la loro dosatura, diede risultati assai vari, dipendenti in gran parte dalle difficoltà dell'analisi, e specialmente dubbia rimane quella dell'acido carbonico al quale la spedizione inglese del CHALLENGER attribuisce una funzione importante nella formazione dei sedimenti marini, in quanto ammette che l'assenza di depositi calcari negli abissi oceanici più profondi sia dovuta all'azione solvente che questo gas, che sarebbe più abbondante nelle profondità, esercita sugli scheletri calcari degli organismi microscopici marini.

Dalla distribuzione della temperatura e della salinità superficiale dipende uno dei fattori più cospicui della climatologia terrestre: la formazione e la distribuzione dei ghiacci marini. Com'è noto, tre tipi di ghiacci inceppano la navigazione nelle latitudini circumpolari: gli *icebergs* o montagne galleggianti di ghiaccio, i *ghiacci di mare* propriamente detti, e i *ghiacci costieri*. Gli *icebergs* sono frammenti che si staccano dai ghiacciai delle terre polari, i quali generalmente sboccano nel mare; i *ghiacci di mare* rappresentano il prodotto della congelazione dell'acqua superficiale in aperto oceano; i *ghiacci costieri* invece sono il prodotto della congelazione lungo le coste, dove il mare è meno profondo e dove l'acqua è più dolce per l'afflusso delle acque e dei ghiacci terrestri. I primi sono quindi ghiacci continentali, cioè d'acqua dolce, lanciati nell'acqua salsa. Per le dimensioni talvolta enormi che essi hanno si conservano a lungo e possono essere trascinati dalle correnti marine fino a grandi distanze dal loro luogo d'origine. Ciò si verifica specialmente nell'Oceano antartico, dove gli *icebergs* staccantisi dalla muraglia di ghiaccio talora enorme che per centinaja di chilometri limita la gran calotta polare sono parallelepipedi dello spessore di circa un chilometro, e dai lati di parecchi chilometri di lunghezza. La natura e le trasformazioni di questi ghiacci galleggianti, che i bastimenti incontrano a latitudini poco elevate furono oggetto di studio fin dal secolo scorso; le esplorazioni artiche del secolo nostro, specialmente quelle danesi, scandinave, e tedesche di quest'ultimi decenni, gettarono nuova luce sul loro modo di formazione, avendo pa-

Termometro Negretti e Zambra e apparecchio di rovesciamento Magnaghi.

Ondata presso Loango (Africa meridionale).

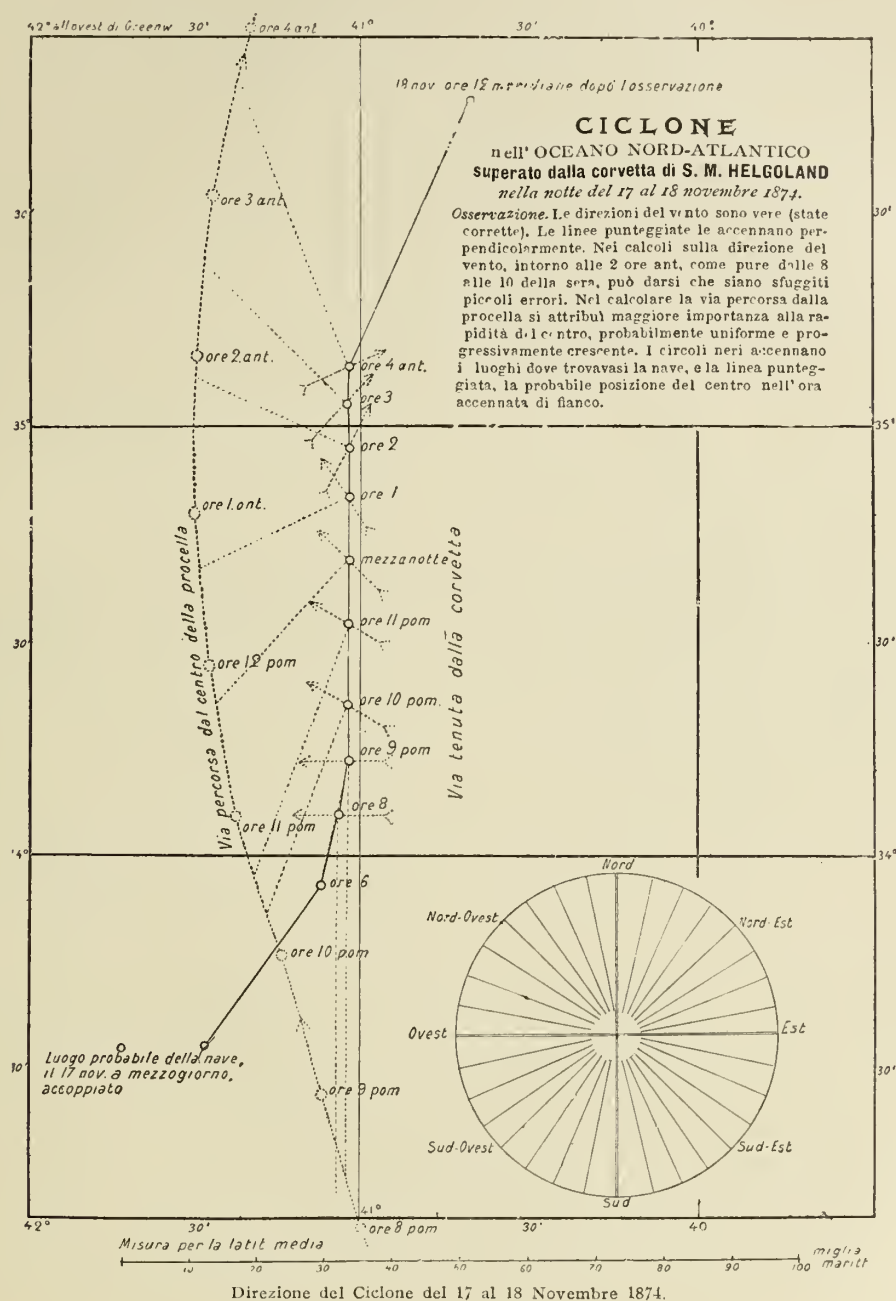
recchi esploratori assistito al fenomeno grandioso del loro distacco. Si è constatata una differenza caratteristica tra gli *icebergs* artici, provenienti da ghiacciai propriamente detti per quanto assai più colossali dei ghiacciai alpini, e la maggioranza degli *icebergs* antartici, che si staccano invece dalla calotta polare, e conservano quindi una struttura più evidentemente stratificata, a strati e a basi orizzontali.

Gli *icebergs* esercitano un'azione refrigerante, che si manifesta in modo evidente anche a distanza sensibile. Il ghiaccio, per quanto puro, di cui sono formati, nell'acqua salsa non si scioglie a *O*°, ma a circa — 2°; l'acqua degli strati superficiali, che è a temperatura notevolmente superiore, lo scioglie, ma viene perciò raffreddata notevolmente tutt'all' intorno, talchè l'avvicinarsi di un *icebergs*, può essere preannunciato a distanza sensibile mediante una misura di temperatura.

Il congelamento dell'acqua salsa che dà origine ai *ghiacci di mare e costieri* fu per lungo tempo messo in dubbio; si dava perciò a tali ghiacci galleggianti un'origine continentale, ritenendoli o avanzi di *icebergs* o ghiacci rovesciati in mare dal disgelo dei fiumi, o prodotti di congelazione dell' acqua dolce portata dai fiumi stessi e che per minor densità si mantiene a galla per certo tempo senza mescolarsi. La spedizione austriaca del *Tegetthoff* comandata da WEYPRECHT (1872-74), quella della *Vega* con NORDENSKJÖLD e più recentemente quella del *Fram* con NANSEN, in regioni remote da ogni terra, hanno sorpreso e seguito la formazione del ghiaccio a livello d'acqua. Prima si forma alla superficie come un nevischio ghiacciato, che s'agglomera poi in massi compatti, questi si riuniscono in piani più estesi, e mossi dal vento o portati dalle correnti derivano in massa in una data direzione, o si urtano, s'agglomerano, s'affastellano, s'accavallano con una violenza straordinaria dovuta non alla loro velocità ma alla enorme forza d'inerzia di cui sono investite delle

masse così estese una volta che siano state spinte in una data direzione. Chiunque abbia letto l'affascinante *Tra ghiacci e tenebre* di Nansen ha un'idea viva di questo spettacolo terrificante.

L'acqua marina nel congelarsi segrega quasi completamente i propri sali;

Direzione del Ciclone del 17 al 18 Novembre 1874.

si credeva anzi fino alle ultime spedizioni che il ghiaccio di mare fosse puro come quello d'acqua dolce. Le ultime analisi, specialmente quelle di Patterson, hanno messo in evidenza che invece una differenza persiste; i cloruri, compreso il cloruro di sodio, si segrega quasi interamente e aumenta la salinità dell'acqua rimasta liquida, ma i solfati rimangono, e anche l'acqua salsa, che

rimane alla superficie impigliata fra i ghiacci, finisce, pel grande raffreddamento superficiale di questi, a congelare, rimanendo i sali a inquinare gli strati superiori: perciò la salinità dei ghiacci di mare è maggiore alla superficie e decresce colla profondità.

La spedizione austriaca di WEYPRECHT e quella norvegese di NANSEN hanno messo in luce il modo di formazione e di accrescimento dei ghiacci di mare. Nel mare artico, dove la temperatura cresce nei primi metri colla profondità, essi non superano mai lo spessore di pochi metri perchè l'acqua sottostante li fonde continuamente alla base, mentre crescono alla superficie; se i banchi presentano spesso profondità assai maggiori ciò si deve attribuire all'accavallarsi dei ghiacci urtantisi in direzioni diverse. Però in alcuni bacini chiusi, e poco profondi, presso le coste, in alcuni stretti, dove meno facile è l'afflusso d'acqua più calda, i ghiacci possono anche raggiungere lo spessore di molti metri, che rappresenta l'accumulo dei successivi congelamenti di molti anni. Sono questi i così detti ghiacci *paleocristici* ad alcuni dei quali NARES attribuiva un'età da 50 a 500 anni.

Finora abbiamo discorso delle condizioni fisiche del mare che formano l'oggetto dell'Oceanografia così detta *statica*, per distinguerla dall'Oceanografia *dinamica* la quale studia i movimenti del mare. Questi sono di tre sorta: le *correnti*, le *onde*, le *maree*.

Ben poco si conosceva prima del secolo XVII delle correnti superficiali del mare. Si conoscevano alcune correnti particolari, come quella degli stretti di Gibilterra e di Bab-el-Mandel, la corrente del Mozambico, quella del golfo di Guinea, e COLOMBO aveva riconosciuto la corrente equatoriale dell'Atlantico affermando che le acque si movevano con *los cielos*. PONCE DE LEON aveva scoperto la corrente della Florida, cioè l'origine della grande corrente del Golfo, e CABOTO la corrente fredda del Labrador. Le linee principali dei movimenti dell'Atlantico e dell'Oceano indiano potevano quindi dirsi conosciute; su di esse VARENIUS (1650) pel primo costruì una teoria generale che, pel suo tempo, era un vero miracolo di acutezza, in quanto precorse di due secoli la teoria ora generalmente accolta.

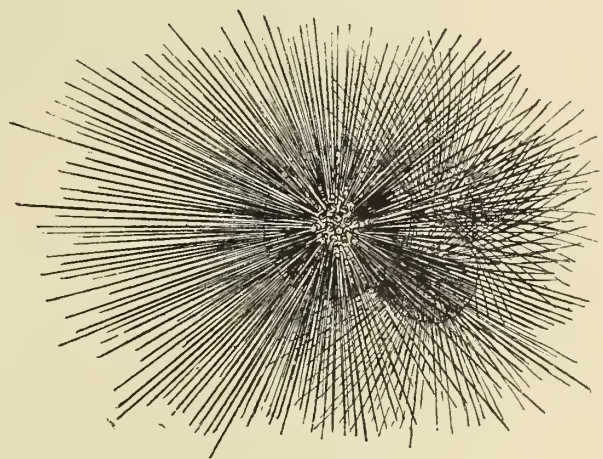
Dopo di lui VOSSIUS (1663) completa la circolazione nell'Atlantico settentrionale, e KIRCHER (1678) traccia la prima carta delle correnti marine, dove al solito la realtà si confonde colle più fantastiche invenzioni.

Per un secolo, cioè fino al secondo periodo delle grandi scoperte marittime iniziato da COOK, le cognizioni su questo argomento non fecero un passo. Le spedizioni scientifiche della fine del secolo scorso e del principio del nostro completarono rapidamente la carta dei movimenti del mare; verso la fine del XVIII RENNEL si valse dei libri di bordo dei bastimenti mercantili, precorrendo in ciò MAURY, e ROMME sul principio del XIX pubblicava un ricco materiale di fatti, finchè BERGHAUS pubblicava nel suo grande Atlante fisico la carta riassuntiva di tutti i dati conosciuti.

La corrente che richiamò la maggior attenzione degli studiosi e dei navigatori fu naturalmente il *Gulf-Stream* che si trova sulla strada maestra del commercio Europeo-americano. I piloti americani ne avevano una conoscenza esatta, almeno per la parte più prossima alle loro sponde, fin dal secolo scorso,

ma la tenevano gelosamente riservata come un segreto professionale, finchè B. FRANKLIN ne pubblicò la prima carta. Anche nel secolo nostro agli americani spetta il primato nello studio delle dimensioni, del moto e delle qualità (temperatura, salinità, colore) di questo gran fiume dell'Atlantico, che è uno dei fattori principali del clima europeo e delle regioni artiche, e sopra tutto spetta a MAURY il vanto di averne data la fisiologia, e d'averne messa in evidenza l'alta funzione climatologica. Le ulteriori osservazioni non fecero che mettere in chiaro, anche nei più minuti dettagli, questa funzione, particolarmente nel bacino artico fin oltre lo Spitzberg, anzi, secondo NANSEN, fin nelle più alte latitudini da lui raggiunte, dove l'acqua relativamente tiepida si ritrova a poca profondità sotto i ghiacci. Anche delle altre correnti, sia dell'Atlanatico che degli altri oceani, si è acquistata ormai una conoscenza abbastanza completa. Guardando una carta marina si riconosce a prima vista che ogni bacino oceanico tanto a sud che a nord dell'equatore ha un movimento di rotazione in senso che possiamo dire anti-ciclonico, che è quello dell'indice di un orologio nell'emisfero boreale, ed è l'opposto nell'australe.

Globiferina.

Presso l'equatore i due vortici opposti, che dovrebbero fondersi in una sola grande corrente da Est ad Ovest, sono invece divisi da una angusta contro-corrente in senso opposto. Nelle latitudini medie di ambedue gli emisferi predomina il movimento da Ovest verso Est, che però nell'emisfero boreale è disturbato e deviato in cento modi; nelle più elevate latitudini artiche NANSEN divinò, in base al movimento dei ghiacci presso la Groenlandia, e al cammino percorso dagli avanzi della nave americana *Jeannette* perdutasi tra i ghiacci nel 1881, a nord dello stretto di Behring, l'esistenza di una corrente da Est a Ovest, divinazione da lui stesso confermata col viaggio di deriva del *Fram*.

Quale la causa di questo continuo rimescolarsi degli strati superiori dell'oceano? Qui entriamo nel campo malfido delle teorie, tanto più malfido perchè a questo moto superficiale deve corrispondere un sistema di movimenti verticali, ascendente e discendente, come vediamo nell'atmosfera e un sistema di correnti profonde, che noi ignoriamo affatto. Le teorie costrutte in questi ultimi secoli seguirono di pari passo le scoperte di fatti nuovi. Così fino al secolo XVII la corrente che attirava l'attenzione principale era la corrente equatoriale atlantica in quanto si trovava sul cammino tra la Spagna e i suoi possedimenti delle Indie occidentali, e la teoria si rivolse principalmente a spiegar questo movimento da est verso ovest, che si riteneva assai più esteso di quel che realmente non sia, considerandosi le altre correnti in direzione diversa come deviazioni secondarie prodotte dall'ostacolo dei

Ghiacci galleggianti nel Mar polare-artico.

continenti o dalle correnti aeree. Questo movimento generale dell'oceano in direzione opposta al movimento di rotazione della terra si attribuiva generalmente, dopo KEPLERO, all'attrazione della luna e anche degli altri corpi celesti che impediva alla massa fluida di seguire liberamente la rotazione del globo. La teoria, più o meno modificata, mantenne radici fin quasi ai giorni nostri, benchè fin dal secolo scorso BENIAMINO FRANKLIN e, con maggior copia di fatti RENNEL, avessero intravveduto nei venti alisei la forza propulsoria della corrente equatoriale, e in generale nelle correnti costanti dell'aria la causa dei movimenti superficiali del mare. Verso la metà del secolo nostro POUILLET e poi MAURY coll'autorità del nome, fecero prevalere la teoria convettiva, secondo la quale i movimenti del mare debbono ascriversi esclusivamente alle differenze di temperatura e di densità che tendono continuamente a livellarsi. Fu merito precipuo dell'inglese CROLL verso il 1870 di aver battuto in breccia questa teoria, dimostrando che le differenze osservate di temperatura non potevano produrre che movimenti lentissimi, e del tedesco ZÖPPRITZ di avere verso il 1878 ricostruita su basi meccaniche più rigorose la teoria anemodinamica, che connette la circolazione superficiale, in correnti definite, del mare colla circolazione generale dell'atmosfera.

Un altro movimento più generale della massa oceanica è quello delle *maree*, prodotto, com'è noto, dall'attrazione del sole e della luna sulle acque dell'oceano. Esso era conosciuto fin dalla più remota antichità, ma acquistò importanza ben maggiore nella letteratura scietifica quando, uscita la civiltà del bacino del Mediterraneo, dove esso è assai meno accentuato e in molti punti affatto insensibile, navigatori e scienziati si trovarono davanti a feno-

meni ben più accentuati, oscillando su alcuni litorali il pelo d'acqua dall'alta alla bassa marea di 15, di 20 perfino, di 35 e più metri. Coll'estendersi delle osservazioni si riconobbe anche la grande complessità del fenomeno, che presenta secondo i varî punti del litorale fasi, intensità ed aspetti affatto diversi. Le teorie ideate a spiegazione dei fatti furono le più strane; i genî di GALILEO di CARTESIO, di KEPLERO vi si smarrirono completamente, finchè NEWTON trovò nella Gravitazione universale da lui scoperta l' *ubi consistam* di una spiegazione razionale. La varia attrazione, che la luna e il sole esercitano sui vari punti dell' involucro acqueo, in confronto coll' attrazione che essi esercitano sulla massa solida della terra, spiega le intumescenze dell' involucro stesso sulla faccia che guarda i due astri e sulla faccia opposta, e poichè la terra gira e la sua posizione rispetto al sole e alla luna muta continuamente si spiegano nelle loro linee generali i movimenti di flusso e riflusso secondo le stazioni, le ore del giorno e le varie posizioni sulla superficie della terra. La teoria generale del fenomeno è però assai complessa, perchè, oltre che dell'effetto dell' attrazione astrale, deve tener conto delle leggi che governano le vibrazioni di una massa d'acqua di profondità variabile, limitata da continenti di forma molto irregolare. Fu LAPLACE, verso la fine del Secolo scorso, che seppe esprimere matematicamente e risolvere il problema nella sua complessità, nell'ipotesi però di un mare di profondità uniforme disteso a tutta la superficie della terra. Il secolo nostro non ha aggiunto nulla di veramente essen-

Dune sulle coste tedesche del Baltico.

ziale a quella teoria. AIRY ne facilitò in certo modo l' intelligenza colla sua *teoria dei canali*, studiando prima la propagazione di un'onda di flusso in un canale di profondità costante lungo l'equatore, poi in un canale siffatto lungo un meridiano, e deducendone la legge di propagazione in una direzione qualsiasi; non senza determinare finalmente l'effetto di una variazione di profon-

dità che spiega specialmente le maree rimontanti i fiumi e i bassifondi. Seguendo una veduta di Young e Fitz-Roi, Ferrel crede che le maree debbansi studiare piuttosto come fenomeni analoghi a quelle ondulazioni che si osservano nei laghi in seguito a perturbazioni atmosferiche, e che, dal nome che esse hanno sul lago di Ginevra dove furono più attentamente studiate da Vaucher sul principio del secolo e da Forel in questi ultimi anni sono chiamate comunemente *seiches*. Secondo tale interpretazione, di cui Ferrel dà la teoria completa, non si potrebbe a rigore parlare di *onde di marea* che si propagano attraversando tutta la superficie dell'oceano, ma piuttosto di oscillazioni periodiche che si rivelano soltanto lungo il litorale. Sia o meno accettabile tale interpretazione, è certo a ogni modo che le maree sono ben determinate soltanto lungo le rive e che va interpretata con prudenza la rappresentazione, ideata da Whewell e riprodotta in tutti gli Atlanti fisici, delle onde di marea mediante linee di flusso contemporaneo (*cotidal lines*, chiamate *isorachie* da Berghaus) che attraversano tutto l'oceano.

I matematici inglesi, con quel senso pratico che li distingue, abbordarono il problema delle maree per una via affatto diversa da quella classica di Laplace. Thomson e Tait e poi G. H. Darwin idearono di scomporre l'oscillazione del livello del mare su un dato punto del litorale in una serie di oscillazioni semplici, pendolari, di estensione e di periodo diversi, ciascuna delle quali si può attribuire all'azione di un astro ideale moventesi con una legge speciale. I dati di osservazione raccolti in lunghissimo periodo di tempo e opportunatamente combinati dànno modo di separare ciascuna di quelle oscillazioni determinandone la grandezza e il periodo, e la formola, che esprime la forma delle oscillazioni stesse, dà la legge dell'oscillazione totale e quindi il modo di prevederla per ogni momento avvenire.

La teoria della maree non ha soltanto importanza per sè come spiegazione di un grandioso fenomeno naturale e come fondamento alle applicazioni pratiche dell'idrografia litoranea, ma ha anche una portata filosofica ben più ampia. Essa diede infatti il più solido argomento a sostegno dell'idea, ora quasi generalmente accolta, che la terra non sia, come si credeva fino a pochi anni fa, una massa fluida rivestita da un involucro solido relativamente tenue, ma una massa interamente compatta, quasi rigida, come se fosse tutta d'acciaio. La teoria di Newton e Laplace è basata infatti sull'ipotesi di una terra perfettamente rigida; se nella maggior parte della massa essa fosse fluida dovrebbe avere anch'essa maree lunari e solari che, assecondando quelle del mare, le renderebbero quasi insensibili per noi che abitiamo sui continenti e senza accorgerci oscilleremmo con essi. Darwin, discutendo un gran numero di osservazioni di maree dei porti europei ed indiani sarebbe venuto a conchiudere che esse sono infatti circa $^2/_3$ di quello che dovrebbero essere secondo la teoria e che sono precisamente quali si verificherebbero su un globo d'acciaio.

Adams e Delaunay dimostrarono che dal tempo di Ipparco a noi la durata del giorno dev'essere aumentata di parecchi minuti, ossia di altrettanto diminuita la velocità della rotazione diurna. Già Kant aveva posto il problema dell'influenza che il movimento di marea può avere sulla durata della rotazione terrestre. La massa d'acqua attratta verso la luna non può

seguire liberamente questo movimento di rotazione e quindi per attrito contro la massa solida deve esercitare una continua azione rallentante. Ferrel e Delaunay hanno dato la dimostrazione matematica di ciò.

Ma un'azione bene più energica deve avere esercitata la terra sulla luna quando questa era ancora fluida o rivestita di un involucro fluido, e ad essa si deve attribuire se la luna non ha più ormai rotazione propria ma rivolge sempre la stessa faccia alla terra. E allo stesso punto per la stessa, causa cioè per la marea solare sono i pianeti Mercurio e Venere, secondo le recenti scoperte di Schiaparelli.

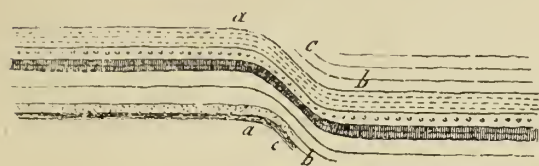
Linee cotidali dell'Atlantico.

Da questa rapida rivista, che abbiamo fatto dei progressi della Oceanografia fisica nel secolo nostro, appare evidente l' alto significato pratico e scientifico che essa è venuta acquistando. Molti altri fenomeni d'ordine secondario, come quello del moto ondoso, delle sue cause, delle sue forme e de' suoi effetti ci avrebbero portato egualmente al medesimo risultato, alla prova cioè che la portata di questi studi è duplice, poichè mentre dànno norme sempre più sicure per la navigazione, aprono anche nuove vedute teoriche nel campo della fisica, della meccanica, della cosmologia. Questi studi richiedono però mezzi grandiosi difficilmente accessibili a un privato, che non sia un principe come il principe Alberto di Monaco; perciò essi sono venuti accentrandosi sempre più in istituti di stato, in uffici idrografici dipendenti generalmente dai Dicasteri della marina, secondo l'esempio dato nel 1844 dagli Stati Uniti per iniziativa di Maury, oppure sono il frutto di coraggiose iniziative nazionali o internazionali come la spedizione del *Challenger*, e quella artica norvegese, e quelle che si stanno preparando in Inghilterra e in Germania per l'esplorazione della regione antartica. Mercè questo ammirabile concorso di forze si è rivelato un nuovo campo di studi, che al cominciare del secolo era quasi interamente ignoto; gli scarni capitoli che Bergmann e Kant consacrarono all'oceano sono in tal modo cresciuti a trattati organici, densi di fatti e di teorie, come quelli di Boguslawski e Krümmel e di Thoulet.

FISICA DEI CONTINENTI

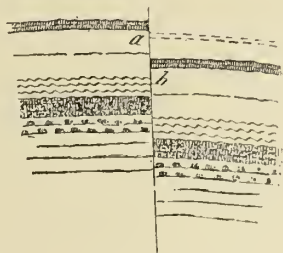
Questo capitolo non può essere che molto sommario. Noi non siamo infatti davanti a fenomeni generali che si possano abbracciare in leggi relativamente semplici, ma ad una congerie di fatti locali dipendenti da una immensa molteplicità di cause, geologiche, meteorologiche e organiche Mentre i fenomeni dell'atmosfera e dell'oceano sono evidentemente connessi in modo che il fatto speciale può facilmente innestarsi nel quadro dei fatti generali, i fenomeni che modificano continuamente la faccia dei continenti ci si presentano ancora come appartenenti a categorie distinte, spesso come affatto isolati, senza rapporto evidente gli uni cogli altri. Mentre perciò era relativamente facile esporre il movimento, spesso la trasformazione completa, d'idee verificatosi nel corso del secolo intorno al modo di concepire i fenomeni dell'atmosfera e del mare, qui dovremmo, volendo aspirare a fare una rivista relativamente completa, scendere a una quantità di dettagli minuziosi, e a litanie di nomi che non possono contenersi nei limiti e negli scopi di un lavoro come questo.

Già nell'Introduzione abbiamo messo in evidenza le successive trasformazioni che ha subito dal secolo scorso all'attuale il concetto di *Fisica terrestre*; queste trasformazioni si verificano specialmente per ciò che ha riguardo ai fenomeni continentali. Humboldt nei classici « Quadri della natura » che parvero rivelare un nuovo modo di sentire e comprendere il paesaggio, non descrive che paesaggi continentali, le steppe, le cascate dell'Orenoco, i vulcani americani, ecc.; le grandi opere di Ritter, che fondarono una Geografia scientifica, sono consacrate esclusivamente allo studio dei continenti; la Geologia alla quale si deve, come si è detto, la prima parte nel risorgere della Fisica terrestre, non ha trovato altra base che nello studio dei sedimenti continentali; le forze *attuali*, colle quali Lyell intende spiegare tutte le trasformazioni del passato geologico, sono quasi esclusivamente quelle interne che sollevano e

quelle esterne che tendono a demolire con lavoro assiduo i continenti. Come abbiamo veduto nei capitoli precedenti, la Meteorologia e l'Oceanografia nei loro principii fondamentali sono nate nel secolo; lo studio invece dei carat-

Flessura. Pieghe.

teri fondamentali delle terre abitate, in particolar modo delle condizioni climatologiche e dell'idrografia, era imposto anche prima dalle necessità pratiche della vita. Ma a costituire queste nozioni in corpo di dottrina mancavano i principii informatori, che solamente la Geologia, la Fisica, la Chimica e in via indiretta poi la Meteorologia e l'Oceanografia potevano somministrare. Mancava avanti tutto una cognizione precisa del rilievo continentale.

Il secolo XVIII ebbe il vanto di applicare alla rappresentazione cartografica della superficie terrestre i risultati delle misure astronomiche di longitudine e latitudine, che sostituirono all'apprezzamento approssimativo la determinazione rigorosa dei tracciato orizzontale. Il secolo XIX ha il vanto di aver saputo completare il quadro colla determinazione rigorosa anche del rilievo, prima per mezzo del barometro ed ora, nelle nazioni più civili, mediante esatte ed estese misure trigonometriche.

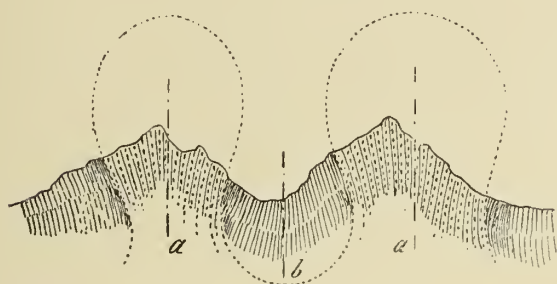
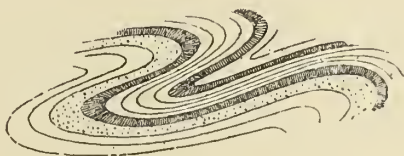
L'uso del barometro come misuratore di altezze era stato perconizzato da Scheuchzer, che in base alla legge di Boyle dava anche una formola pel calcolo; ma i suoi risultati erano evidentemente lontani dal vero, perchè non teneva conto delle variazioni di temperatura. Fu il ginevrino Giovanni De Luc che con una serie di osservazioni comparative fra il barometro e il termometro a varie altezze, continuate tra il 1757 e il 1772, separò nella lettura barometrica la parte spettante alla altitudine da quella spettante alla temperatura, e in seguito a questi risultati De Saussure fece le prime determinazioni barometriche d'altezza di parecchie cime alpine. Laplace diede poi forma ai risultati di De Luc, De Saussure e Ramond, deducendo teoricamente la sua formola ipsometrica, che è ancora la base più sicura delle misure d'altezza col barometro. Humboldt prima di partire per l'America aveva imparato dai fisici-ginevrini il metodo di osservazione; al suo ritorno trovò così lo strumento analitico per calcolare i dati raccolti. Egli fu il primo adunque che potè applicare il barometro come strumento topografico su vaste estensioni di paese, ma qui non si ferma il suo merito, perchè egli seppe anche dare pel primo una rappresentazione evidente dei propri risultati, mediante curve di livello, come

Salto.

si usa ancora nelle moderne carte topografiche. Dei molti meriti suoi questo non è il minore, poichè da allora soltanto si potè avere una rappresentazione veramente plastica del rilievo continentale. Mercè tale rappresentazione, che il moltiplicarsi delle osservazioni e i nuovi metodi topografici hanno reso sempre più completa e minuziosa, fu messa in evidenza le reciproca dipendenza che hanno fra loro il rilievo terrestre e la distribuzione delle acque superficiali. Chi guardi infatti una buona carta topografica (p. es. quella dello Stato Maggiore svizzero, dove le curve di livello e le corrente d'acqua sono segnate in colori diversi) non sa decidere se la distribuzione delle acque sulla superficie della terra dipenda dalla forma del rilievo, o se non sia piuttosto il rilievo stesso l'effetto del lavorio roditore delle acque che si sono scavata la loro strada nella roccia. La verità è da ambedue le parti. La Geologia ha dimostrato che i sollevamenti orografici sono da attribuirsi in linea principale a forze interne, a enormi pressioni laterali che hanno piegato, contorto, raggrinzato, come si può raggrinzare un sottile foglio di carta, gli strati di durissima roccia. Dalle linee generali di questi sollevamenti è determinato nelle sue linee generali il deflusso delle acque, ma queste non sono masse inerti che cedano senza resistenza a ogni movimento del terreno, bensì, in virtù del movimento acquistato, hanno una forza propria per la quale tendono a mantenere la direzione già ricevuta, e a formarsi un determinato pendio. Il rilievo continentale è il risultato sopratutto di queste reciproche azioni e reazioni tra le acque e il suolo, e quindi la classificazione e lo studio delle varie forme del terreno dipendono in linea principale dallo studio dei movimenti del suolo e dallo studio delle leggi che governano le acque correnti.

Il primo studio forma oggetto della Geologia, ma, come s'è visto nel Cap. 1.°, molti fenomeni, e soprattutto molti metodi di osservazione si riattaccano alla Fisica, e quindi non esorbitano anche dai limiti della Fisica terrestre. Le misure di gravità e delle deviazioni dal filo a piombo, le livellazioni, le misure delle temperature profonde, le teorie sulla costituzione delle terra e sull'origine delle montagne furono già prese in considerazione in quel capitolo. Ma anche tentativi più generali furono fatti per ridurre tutto il complesso dei fatti geologici alle teorie della Fisica e della Chimica e al controllo dell'esperienza. Già fin dal 1780 Silberschlag aveva formato il progetto chimerico di spiegare colle leggi della Fisica e matematica il Diluvio Universale. Tra il 1805 e il 1825 J. Hall istituiva esperimenti coi quali intendeva riprodurre la formazione e le trasformazioni meccaniche degli strati secondo le teorie di Hutton; nel 1835 Bischof pubblicava la sua classica *Teoria del calore nell'interno della terra, spiegazione completa di tutti i fenomeni termici che si compiono nell'interno della terra o alla sua superficie, in base a ricerche fisiche, chimiche e geologiche.*

L'indirizzo così aperto fu seguito da pochi, anche perchè le teorie plutoniche, alle quali quelle ricerche teoriche erano particolarmente ispirate, erano andate verso la metà del secolo lentamente tramontando sotto la calma influenza dalle idee di Lyell, e per la più intima conoscenza dalle deformazioni subite dagli strati. Tra i pochi rappresentanti di quel movimento geologico sperimentale meritano menzione il nostro Giuseppe Belli per le sue memorie

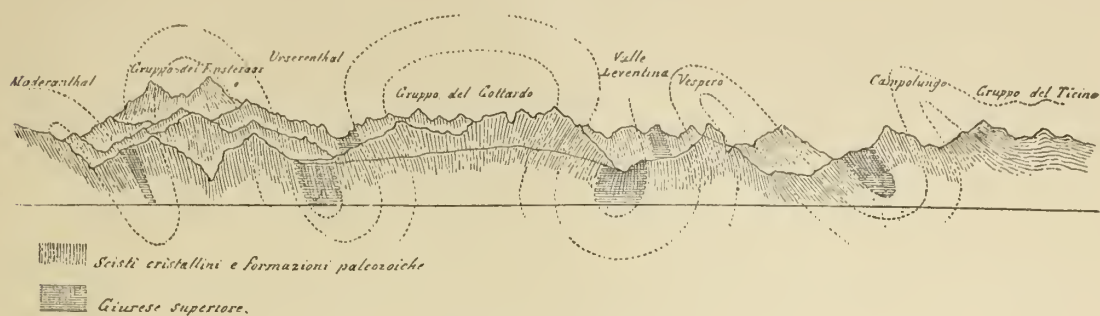
fisiche sui terreni eruttivi e sulla costituzione interna del globo e, nonostante la singolarità stravagante delle sue teorie, PAOLO GORINI per le esperienze riproduttive de' fenomeni vulcanici. Il nuovo indirizzo d'idee sull'origine delle montagne venne rappresentato nel campo fisico sperimentale dalle esperienze di PFAFF, di DAUBREÉE, di FAVRE, e più recentemente di REYER e di MEUNIER, all'ultimo dei quali dobbiamo recentemente un volume di *Geologia sperimentale*. È una scienza ancora bambina che pare chiamata a rapidi progressi.

Assai più progredito, possiamo dire anzi maturo, è lo studio del movimento delle acque. Le necessità pratiche della canalizzazione e distribuzione delle acque a scopo di irrigazione o di bonifica, dell'arginamento e dal governo dei torrenti e dei fiumi, della navigazione fluviale, i molteplici usi e i molteplici rapporti giuridici delle acque correnti avevano imposto fin dalla più remota antichità lo studio empirico dei corsi d'acqua naturali e artificiali. Senza voler rimontare agli Etruschi e ai Romani, possiamo ricordare la gloriosa

Pieghe a ventaglio.

Piega coricata.

plejade di idraulici italiani dei secoli XVII e XVIII che lavorando alla sistemazione del Tevere, all'Arno, del Po, e alle bonifiche toscane, o disputando sulla opportunità di gettare il Reno in Po, o cercando norme più sicure per la misura delle quantità d'acqua da distribuirsi fra i vari utenti di un canale, e così via, applicarono pei primi i metodi di Galileo e Torricelli. Queste gloriose tradizioni dell'Idraulica italiana, ingiustamente disconosciute dagli scrittori forestieri furono degnamente continuate anche nel secolo nostro da TADINI, BIDONE LOMBARDINI, POSSENTI, PALEOCAPA. Certamente lo studio di fiumi ben più cospicui degli italiani, e in particolar modo la grande monografia sul Missisipì pubblicata verso la metà del secolo dagli Stati Uniti, fornì gli elementi a induzioni e verifiche più grandiose, ma si può affermare che i principî fondamentali del movimento dell'acqua, del regime fluviale, delle misure idrometriche, dell'erosione e dell'alluvione, erano già implicite nelle regole suggerite dalla pratica sperimentale ai nostri idrologi dei secoli passati.

Le leggi del movimento dell'acqua formano argomento d'un ramo della Meccanica. I progressi notevoli che questa scienza ha fatto nel secolo nostro col sussidio di una matematica sempre più feconda di strumenti analitici, si rifletterono anche in questa branca di ricerche, ma non così luminosamente come in altre branche.

Nell'ipotesi di un fluido ideale senza attrito interno si costruì una Idrodinamica teorica che nel fatto si dimostrò in contraddizione coi fenomeni reali del movimento dei liquidi. Solo in questi ultimi anni, per merito specialmente del francese Boussinesq, si riescì a costruire una teoria meno discorde dalla realtà, del movimento delle acque correnti. A questo progresso contribuirono però ricerche anteriori di carattere sperimeatale come quelle di Bidone, di Darcy e Bazin, e ultimamente di Reynolds.

Lo studio dell'azione esercitata dai corsi d'acqua nel modificare continuamente il rilievo terrestre si mantiene invece ancora quasi interamente nel campo dell'osservazione empirica. È osservazione antica che i fiumi tendono ad assumere in ogni loro tratto una pendenza determinata, decrescente da monte a valle, mano mano che per l'affluenza di nuove acque dai fianchi del bacino aumenta la loro massa. Dove, per condizioni topografiche e per la natura del terreno, questa pendenza limite non è raggiunta o è superata, il fiume lavora a procurarsela, incidendo il suo letto nel primo caso, interrando nel secondo o allungando il proprio corso in divagazioni e serpeggiamenti. Molte delle particolarità di questo assiduo lavoro di livellamento che il fiume esercita sul terreno sottostante, onde raggiungere il suo profilo regolare, erano note anche in passato. Il secolo nostro ha raccolto in ogni parte del mondo una copia di dati immensamente più abbondante e suggestiva di conclusioni e, ciò che più importa, ha saputo coordinare questi dati idrografici coi dati della nuova scienza geologica, determinando le varie influenze attive e passive che le diverse formazioni geologiche esercitano o subiscono nel determinarsi e trasformarsi della rete fluida che si dirama sui continenti. Così si è venuta spiegando la immensa varietà del paesaggio idrografico, coi laghi, colle cascate, colle voragini sotterranee, cogli eleganti o imponenti coni di dejezione, coi terrazzi e gli ampi anfiteatri, coi capricciosi serpeggiamenti, cogli argini naturali scavati dall'acqua nelle proprie alluvioni, e giù giù fino agli estuari e ai delta di sbocco nel mare. Così si è venuto spiegando anche il modo, assai vario pei vari casi, con cui gli affluenti minori si riallacciano ai maggiori e questi ai fiumi principali, a seconda della struttura geologica dei terreni, e la formazione di valli secondarie dovute esclusivamente all'azione delle acque sui terreni più disgregabili racchiusi fra terreni più compatti. All'individualità del fiume si sostituì quella di tutta la *rete idrografica*, di cui il fiume stesso è lo scolo, e si constatò che anch'essa nel suo assieme tende ad assumere un aspetto proprio, adattando il proprio bacino e adattandosi ad esso finchè l'abbia raggiunto. Una rete idrografica ha quindi una propria storia o ciclo di sviluppo, poichè partendo da un periodo d'indecisione, nel quale le acque scorrenti alla superficie non hanno ancora trovato, o meglio non si sono ancora formato, un sistema permanente di canali, in progresso di tempo vanno sistemandosi, prima nelle loro linee principali di scolo e poi via via in tutte le diramazioni secondarie. Così da un periodo d'infanzia una rete idrografica giunge per lente trasformazioni, che ricordano l'adolescenza e la giovinezza, a un periodo di maturità, nel quale essa risponde il meglio che sia possibile al proprio ufficio di condurre al mare le acque superficiali, e che rappresenta il miglior compromesso fra le condizioni udometriche, o di piovosità, e le

Sezione delle Alpi Centrali.

linee fondamentali di struttura del bacino. La maggior parte delle grandi reti idrografiche della terra si può ritenere che hanno raggiunto, o sono prossime a raggiungerlo, o hanno di poco varcato questo periodo di maturità, avendo avuto tempo di accomodarsi il meglio possibile alle condizioni topografiche e climatologiche lasciate dall'ultima grande fase orogenetica che chiuse il periodo terziario. Anche varcato, dissi, perchè la vita di un sistema idrografico, se raggiunge, come la vita di un organismo, il suo maggior grado di sviluppo nella maturità, e in questa, come l'età meglio rispondente all'equilibrio delle condizioni, si mantiene più a lungo, non è tuttavia sottratta alle leggi generali della vita, che lentamente la portano al decadimento. Il lento avanzarsi della foce in mare e il lento disgregarsi delle cime e creste montuose diminuendo il pendio e quindi la forza delle correnti, le rendono meno atte a superare gli ostacoli, e più suscettibili quindi di deviazioni totali o parziali che le rendono vaganti o stagnanti nella pianura invece di portarle interamente e direttamente al mare. Tale è il caso del Po nel suo corso inferiore, e, in modo più evidente, del Mississipì.

In progresso di tempo gli spartiacque che dividono fiumi appartenenti a due reti idrografiche diverse possono venire lentamente demoliti o scavati dal contemporaneo lavorio delle acque sui due versanti, e i due rami quindi fondersi in uno solo, o meglio l'uno di essi più debole per massa o pendio venir assorbito o, come si dice, *catturato* dall'altro che è così costretto a invertire il proprio corso. Le due reti prima distinte vengono allora riallacciate tra loro; e lo stesso fatto può verificarsi più facilmente nella parte inferiore di due fiumi attigui, dove le divagazioni dell'uno possono intrecciarsi con quelle dell'altro. L'esempio più classico di questo fatto è quello scoperto da Humboldt proprio all'alba del secolo; il collegamento cioè del bacino dell'Orenoco a quello delle Amazzoni per mezzo del Cassiquiare e del Rio Negro.

Oltre queste e molteplici altre cause di modificazione dei sistemi idrografici per forza propria delle acque, per effetto delle quali la pianta idrografica di certe regioni si è radicalmente mutata in un periodo geologico relativamente breve, un'altra causa, esterna questa, fu rilevata verso il 1860 da Babinet e da Baer. Questa causa sarebbe la rotazione della terra, che, come devia le correnti aeree, deve tendere a deviare anche le correnti acquee spingendole verso destra nell'emisfero boreale, verso sinistra nell'australe. Per effetto della rotazione terrestre l'acqua di un fiume verrebbe infatti spinta di preferenza verso una delle sponde, e perciò, corrodendo questa più dell'altra, che ver-

rebbe anzi interrata, tenderebbe o spostare il proprio letto. Questa teoria, conosciuta sotto il nome di *Principio di Baer*, fu ed è tuttora assai controversa, poichè se in molti fiumi parve verificata, in molti altri parve contradetta.

Le acque correnti non sono il solo agente di modellatura, di distruzione e di livellamento del rilievo terrestre. Altri agenti fisici, chimici e meccanici lavorano continuamente a limare, a rodere, tutte le sporgenze del terreno e il vento e le acque provvedono a spazzarne i detriti, a distribuirli sulle parti più basse, o a disperderli nel mare. Tra questi agenti, se non tra i più efficaci, certo tra i più imponenti, sono i ghiacciai.

Lo studio dei ghiacciai e della loro funzione nella fisiologia terrestre è un portato del secolo nostro. De Saussure ne suoi celebri *Viaggi nelle Alpi* aveva dato bensì la descrizione esatta ed evidente dei ghiacciai del Monte Bianco e aveva tentato di spiegare, come semplice effetto di scivolamento per gravità, la discesa d'imponenti masse di ghiaccio a un livello assai inferiore a quello delle nevi perpetue. Ma anche in questo argomento l'impulso più vivace a cercare i modi e le ragioni del fenomeno venne dalla Geologia. Nello studio della classificazione e distribuzione dei terreni era stata notata non senza maraviglia la presenza, anche a grandi altezze sui monti, di terreni e di blocchi di pietra di natura affatto diversa da quella dei terreni circostanti, ma analoga a quella di montagne assai remote, dalle quali era naturale supporle provenienti. Quale poteva essere stato il meccanismo per mezzo del quale blocchi dei monti scandinavi erano stati portati fin nelle pianure di Germania e massi granitici della Alpi distribuiti sul versante meridionale del Giura? Playfair, Goethe, ed Esmarch intravvidero fin dal primo quarto del secolo che i ghiacciai potevano essere stati i veicoli misteriosi, in un'epoca in cui avevano dimensioni assai maggiori delle attuali, in cui, come ammetteva Esmarch, la Norvegia era tutta coperta di ghiacci. È merito però dello svizzero Venetz (1821) di aver dimostrato con prove positive come i ghiacciai del Vallese e dei paesi circostanti avessero avuto altre volte uno sviluppo immensamente maggiore dell' attuale, e come a quello sviluppo anteriore si collegasse la distribuzione dei massi, e in generale dei terreni *erratici*. La scoperta di questa nuova causa geologica richiamò l'attenzione dei naturalisti sul modo di vivere dei ghiacciai attuali, e sulle modificazioni da essi prodotte nelle valli che li contengono, onde ricercare se dal presente si potesse rimontare, per ingrandimento di causa e di effetti, al passato. Charpentier fu il primo a istituire osservazioni sistematiche sul ghiacciaio del Rodano, e ne pubblicò i risultati nel 1841, ma già fin da molto prima li diffondeva liberamente tra quanti s'interessavano all'argomento. Perciò alcuni ritengono che in alcune memorie anteriori alle sue p. es. in quelle di Godefroi e in quelle di Mgr Rendu vescovo di Annecy pubblicate nel 1840, siasi già cavato profitto delle osservazioni sue. Tale appunto non parmi però giustificato per lo studio di Rendu, che chiaramente si riattacca a quelli di De Saussure sui ghiacciai del monte Bianco e che espone sulle leggi di movimento dei ghiacciai una teoria affatto diversa da quella di Charpentier. È egli infatti il primo che abbia riconosciuto la perfetta analogia tra il movimento dei ghiacciai e quello delle correnti acquee

e considerato il ghiacciaio come un fiume di un liquido eminentemente vischioso; mentre il Charpentier attribuiva il movimento del ghiacciaio a congelamento dell'acqua penetrata nelle fessure e il De Saussure, come già si disse, a un semplice scivolamento per gravità. La teoria di Rendu fu sostenuta con argomenti più copiosi e stringenti dall'Inglese Forbes; ma ad essa si opponeva da molti la difficoltà di considerare il ghiaccio, corpo così duro, rigido e fragile nello stesso tempo, alla stregua di un fluido pastoso. La difficoltà parve superata dalla famosa teoria di Tyndall. Questi ammetteva che il ghiaccio, sotto l'enorme pressione che la massa del ghiacciaio esercita su sè stessa, realmente si frantuma, ma nello stesso tempo, per un noto principio di Fisica scoperto da Faraday, in parte si liquefa, e l'acqua di liquefazione rigelando tra i frantumi del ghiaccio solido li risalda tra loro in una massa compatta. Alcune esperienze di Helmholz, che riuscì a dare a un blocco di ghiaccio, sottoponendolo a forti pressioni una grande varietà di forme, confermarono questo principio della plasticità del ghiaccio per rigelo. Ma l'esame più intimo della struttura interna del ghiaccio di ghiacciaio tornò in seguito a rimettere in campo la teoria del moto pastoso. Il ghiaccio di ghiacciaio non è infatti cristallino nello stesso modo in cui cristallizza una massa d'acqua congelata, e non è quindi così

Il Cervino. La cima del Denta Blanche, Gabelhorn vista dal Gastore.

rigido, *cassant*, come questo. Esso è invece un agglomeramento di noccioli di ghiaccio (*grani*); secondo un paragone recente di Buchanan esso rassomiglia a un ammasso di vertebre dorsali combinate in modo da occupare il minore spazio possibile, e cementate da un detrito più minuto. Perciò le proprietà fisiche del ghiaccio di ghiacciaio sono affatto diverse da quelle del

ghiaccio ordinario, e più analoghe e quelle dei corpi amorfi, e infatti l'esperienza avrebbe provato che un prisma di ghiaccio tirato a un'estremità da un peso definito non si allunga di un tratto definito, come avviene dei solidi rigidi, ma continua ad allungarsi lentissimamente come una pasta, o come un metallo molle, p. es. lo stagno, il piombo anche il rame. Con tale definizione del ghiaccio il movimento dei ghiacciai può benissimo spiegarsi colla teoria del movimento dei fluidi vischiosi.

Ma altre caratteristiche di struttura dei ghiacciai complicavano il problema. La massa delle lingue glaciali che invadono le valli appare infatti stratificata rappresentando ogni strato l'alimento annuale di neve che ha ricevuto il bacino

Distretto geyseriano di Oracheicoraco nella Nuova Zelanda.

collettore del ghiacciaio. Tale stratificazione è più evidente nei ghiacciai delle terre polari, secondo le osservazioni di Nansen, Drygalski e Chamberlin.

Gli strati non sono rigidamente connessi fra loro, ma possono scorrere l'uno sull'altro sotto le enormi pressioni della massa e il movimento complessivo rassomiglia quindi anche al movimento di una massa di fogli deformabili e scorrevoli l'uno sull'altro. Una teoria perfetta del movimento glaciale non si può quindi dire ancora acquisita.

Intanto però si è raccolta lungo il secolo una enorme somma di fatti. Da quando Hugi nel 1827 si costruì una capanna sul ghiacciaio dell'Unteraar, capanna che il ghiacciaio portò con sè nel suo lento deflusso, altri coraggiosi e pazienti dedicarono il loro studio assiduo a tutti i fenomeni dei ghiacciai delle nostre Alpi. Tra questi meritano d'essere segnalati in modo speciale oltre

già citati, l'Agassiz, i fratelli Schlagintweit, Tyndall, il nostro Stoppani. Le ricerche così concentrate da tanti valenti su questo argomento, che può dirsi essere stato di moda per un trentennio, misero in luce evidente oltre le leggi

Il grande Geyser in Islanda.

del movimento, quelle della formazione delle morene, gli effetti dei ghiacciai sulle valli e materiali rocciosi, le oscillazioni periodiche che la fronte del ghiacciaio presenta non soltanto nel periodo annuo, ma anche in periodi più lunghi rispondenti a mutazioni periodiche del clima. Si deve specialmente al ginevrino Forel lo studio di queste oscillazioni e delle loro cause. Per sua

iniziativa questo studio, che egli aveva incominciato sui ghiacciai delle Alpi occidentali, si è andato estendendo ai ghiacciai di tutte le parti del mondo, anche australi, e polari; da pochi anni si è istituita anzi a tale scopo una Commissione internazionale per lo studio dei ghiacciai, che pubblica dei rapporti annuali sullo stato di tutti i ghiacciai studiati nell'anno. A tale studio i progressi della topografia hanno dato in questi ultimi tempi un nuovo indirizzo, sostituendo al rilievo grossolano, spesso basato sulla semplice informazione orale degli alpigiani, della situazione di ogni singolo ghiacciaio, il rigoroso rilievo topografico, ottenuto talvolta anche per mezzo della fotografia. Forel fu anche il primo a dimostrare in modo positivo la rispondenza fra le oscillazioni dei ghiacciai e le lente variazioni climatologiche, specialmente della temperatura e della piovosità; rispondenza non immediata, ma in ritardo di molti anni, quanti ne impiega la maggior copia di nevi precipitata in un periodo freddo e piovoso al principio del ghiacciaio, nel bacino collettore, a far risentire la sua presenza sulla estremità a valle. Perciò i ghiacciai possono dirsi indici dei climi precedenti, come grandi termometri assai lenti nel segnalare le variazioni termiche dell'ambiente. E poichè il confronto dei terreni erratici, sparsi così estesamente sulla superficie d'Europa e d'America coi terreni morenici dei ghiacciai ha messo fuori di dubbio la loro identità, e rimane quindi confermata la enorme espansione glaciale supposta da Esmarch e Venetz, rimane anche provato che il clima ha subito nell' ultimo periodo della storia della terra una forte variazione che ha ricondotto i ghiacciai alle dimensioni attuali, relativamente minuscole. Sulle cause di quella espansione e successiva riduzione dei ghiacciai, e della rispondente variazione di clima si è discusso e si discute tuttora dai geologi e dei fisici senza che siasi trovata una spiegazione che incontri il comune consenso; il secolo ventesimo ritornerà sul problema per quella speciale attrazione che esercitano i problemi un po' indeterminati nei quali è impossibile di aver prova di fatto. E ancora aperta rimane la discussione anche di molti effetti di quell'espansione, o di quelle espansioni glaciali, poichè è opinione quasi generale dei geologi che non una volta sola siano discesi i ghiacciai alpini alla pianura, ma che invasioni diverse, due o tre o anche più, siano state separate da periodi di ritiro totale o parziale, durante i quali il clima era sensibilmente più caldo ed asciutto. Gli effetti attribuiti a tali invasioni sono molteplici, formazioni di apparati morenici colossali, levigamento di roccie e smussamento di vette, che dànno al paesaggio così detto glaciale quell' aspetto mollemente ondulato (*roches moutonnées*), caratteristico in molte regioni delle nostre prealpi; la forma speciale, ad U, impressa dalle correnti di ghiaccio alle valli da esse invase e che si distingue da quella a V impressa generalmente dalle correnti d'acqua, poichè queste incisero, mentre quelle piallarono; il gran numero di laghi che si riscontra nelle regioni già occupate dal ghiacciaio nell'era glaciale, quali la Scandinavia, la Finlandia, la Germania del nord e tutta la regione alpina e prealpina tanto italiana che svizzera ed austriaca. Quest'ultimo fatto in modo speciale fu oggetto di discussione fra i glaciaristi. Esistevano questi bacini lacustri anteriormente all'invasione glaciale, magari riempiti di materiali disgregati che il ghiacciaio avrebbe spazzato secondo la teoria di Gastaldi, Mortillet, o debbono

ai ghiacciai la loro formazione? e in questo secondo caso in qual modo furono formati?

È noto come una scuola numerosissima iniziata da Ramsay, e che an-

Dune dell' Asia centrale.

che ora tiene il campo, sostiene la possibilità che i grandi ghiacciai quaternari abbiano effettivamante scavata, almeno in molti casi, la roccia; mentre altri geologi e fisici negano tale possibilità, basandosi principalmente sul fatto che i ghiacciai attuali non dimostrano, dove lasciano scoperto il terreno, che un'azione morbidamente livellatrice. Questi errano nel voler paragonare le forze agenti all' ultima estremità degli esigui ghiacciai attuali, a quelle ben più enormi che dovevano agire nella parte più viva di ghiacciai aventi lo spessore di migliaja di metri; ma anche i fautori della teoria escavatrice forse esagerano, o almeno non hanno elementi sufficienti per valutare l'intensità di tali forze in condizioni così diverse dalle attuali. Tyndal valuta la pressione della massa di ghiaccio sul fondo come il peso netto della massa stessa; secondo la teoria del moto vischioso essa può essere, a seconda del movimento, immensamente maggiore e immensamente minore, e variabilissima da punto a punto. Per tali squilibri può supporsi facilmente che la roccia sottostante venisse prima frantumata, e poi i frantumi spazzati dalla massa glaciale. Può supporsi, ma non affermarsi, come non si possono affermare nè escludere altre teorie sulla formazione dei laghi, che del resto possono avere origine affatto diverse dall'uno all'altro. Nella più parte dei casi può dirsi ancora vera la proposizione enunciata fin dal principio del secolo da Playfair che un lago non è che una condizione temporanea, incidentale di un fiume, che non è riuscito ancora a formarsi il suo pendio regolare attraverso un ostacolo, sia questo una piega della montagna, o lo sbarramento prodotto da una frana o da una morena glaciale, o il bordo di una cavità in cui il fiume si è riversato e che era pre-

parata da altre cause (p. es. un cratere vulcanico spento, uno scoscendimento di cavità sotterranee), tra le quali può anche ammettersi finora l'escavazione glaciale.

Oltre al lavorio evidente che le acque allo stato liquido o solido, compiono alla superficie, un altro lavorio nascosto esse compiono nel sottosuolo L'acqua superficiale penetra infatti per mille vie negli strati inferiori del suolo, e qui, a seconda della varia inclinazione della varia permeabilità degli strati stessi, si raccoglie e si diffonde, formando bacini e canali, o distendendosi in strati aquiferi (*aves*), che s'incontrano quasi dovunque perforando il terreno a opportune profondità. Abbiamo così un'idrografia sotterranea come abbiamo un'idrografia superficiale, ma naturalmente la conosciamo assai meno. Tuttavia i progressi della stratigrafia hanno permesso nel secolo nostro di fare delle induzioni plausibili sulla distribuzione delle acque sotterranee in regioni determinate, e spiegare quindi la distribuzione delle sorgenti, o dare norme sicure per la ricerca di acque potabili, o guidare l'ingegnere nel traforo di una montagna, o spiegare certi cataclismi superficiali che l'acqua sotterranea ha preparato di lunga mano minando il sottosuolo. I progressi della chimica hanno permesso poi di studiare più a fondo l'azione solvente e incrostante che le acque sotterranee esercitano nel loro cammino, qua asportando materiale là deponendone, e di studiare quindi la natura dei terreni profondi mediante l'analisi chimica delle acque sorgenti.

Tra l'idrografia superficiale e la sotterranea vi è una naturale antinomia, poichè dove gli strati superficiali sono più permeabili, come si verifica specialmente nei terreni calcari, l'acqua viene immediatamente assorbita dal suolo e quindi la superficie rimane asciutta, mentre più abbondanti sono le acque nel sottosuolo. Caratteristiche sotto questo riguardo sono le regioni del Carso nell'Illiria, dove il sottosuolo è tutto scavato dalle acque, e la superficie rocciosa è tormentata dagli scoscendimenti, e dalle numerose bocche di penetrazione delle acque che, affluendo spesso in modo tumultuoso, le hanno allargate e foggiate a forma di imbuto (*foibe* o *doline*).

Queste forme esterne ed interne prodotte dalla relazione idrografica fra la superficie e il sottosuolo furono oggetto in questi ultimi anni di studio più approfondito e più esteso in tutte le parti d'Europa e d'America. Assai progredita è la la topografia sotterranea mediante l'esplorazione delle caverne, essendosi costituito perfino un nuovo ramo di studi, la *Speleologia:* Gli ultimi progressi sono dovuti in modo speciale al francese MARTEL. Siamo però ancora ai primordi dell'esplorazione, che non permette finora conclusioni ben definite.

Nè progresso sensibile ha segnato lo studio termico delle sorgenti e delle acque del sottosuolo, la cui temperatura dipende in modo assai complesso dalla temperatura dell'aria e degli strati ambienti. Anche le leggi del loro afflusso che talvolta presentano singolarità sorprendenti non sono, per l'ignoranza delle condizioni sotterranee, ben determinate. L'esempio più notevole è quello dei *Geyser* o getti intermittenti d'acqua caldissima, che si incontrano in Islanda, negli Stati Uniti e nella Nuova Zelanda.

Al principio del secolo Mackenzie emise una teoria del fenomeno che raccolse il generale consenso: il Geyser opera come una valvola che è aperta dalla forza interna del vapore e che poi si richiude automaticamente pel semplice peso.

Ma verso la metà del secolo alla teoria di Mackenzie si sovrappose quella di Bunsen, secondo la quale la proiezione dell'acqua è dovuta alla repentina ebollizione della colonna d'acqua sotterranea. Questa teoria spiega assai più completamente molti dettagli del fenomeno; ma i nuovi esempi di Geyser scoperti e studiati in America e nella Nuova Zelanda (Mackenzie e Bunsen si riferivano esclusivamente a quelli di Islanda) misero in evidenza altri dettagli ai quali la teoria Bunseniana non risponde perfettamente.

Meno intensa ma più estesa dell'azione delle acque è quella dei venti, che trasportano i materiali più minuti della disgregazione delle roccie disperdendoli sulle pianure e sui mari, dove dànno origine alla formazione di nuovi sedimenti. I sedimenti così detti *eolici* che si formano in tal modo

Paesaggio del Carso.

su vaste estensioni di continente furono rivelati e studiati in questi ultimi tempi, specialmente da von Richthofen, che attribuì a tale origine le estese pianure fertili, dette di *loess*, della China e le aride praterie, (steppe, illanos, pampas) di gran parte dell'Asia e delle due Americhe. I materiali non trasportabili dal vento vengono mano mano lavorati e trasportati dalle acque dove esiste una idrografia regolare e abbondante; dove invece per la

siccità del clima mancano corsi d'acqua costanti abbastanza copiosi, e con libero deflusso al mare essi rimangono in posto, costituendo i *deserti*. Lo studio di questa speciale *facies* di larghe estensioni di continenti si è ampliamente esteso nel secolo nostro, per l'esplorazione ormai quasi completa delle regioni centrali d'Africa, d'America, d'Asia e d'Australia. Ovunque si è verificato che una selezione naturale dei materiali disgregati si compie per l'azione meccanica dal vento nelle regioni desertiche battute da correnti aeree di direzione costante. I materiali meno grossolani, le sabbie, sono spinti avanti nel senso del vento e formano serie di rilievi o collinette (*dune*) che per la mobilità dei materiali costituenti continuamente si spostano sotto l'azione del vento. La legge di formazione e di trasporto delle dune dei deserti é ormai assodata in modo definitivo.

A una legge alquanto diversa obbediscono invece le sabbie costiere, che i venti marini ammucchiano parimenti a dune, secondo linee parallele alla costa. Queste dune, mobili o stabili secondo che la costa continui piana verso l'interno del continente, o si sollevi rapidamente a rilievo montuoso, sono una caratteristica di una buona parte delle coste continentali. L'aspetto di queste dipende però in linea principale, oltrechè dalla struttura geologica e dalla tectonica del litorale, e dai movimenti di sollevamento o di abbassamento che questo ha subito negli ultimi periodi della storia geplogica, o che continuano ancora, dipende, dico, dall'azione delle onde del mare, che con varia intensità e periodo, ma ovunque e senza tregua, lavorano a trasformarle e demolirle. La grande varietà di forme che siffatta varietà di agenti sa imprimere ai contorni delle terre emerse fu studiata nelle sue più minute particolarità in questi ultimi anni.

Lo studio più profondo delle forze geologiche e fisiche che operano a formare e trasformare la superficie delle terre emerse, ha dato alle varie forme che ne risultarono per il momento geologico attuale un significato assai diverso da quello che ne avevano i nostri predecessori. I nomi di pianura, di montagna, di valle non hanno un solo significato per ciascuno, ma ne hanno tanti quante sono le possibili cause di loro formazione. Così una pianura può rappresenture tanto la condizione primitiva di uno strato rimasto orizzontale, o quasi, come si era formato in antico nelle profondità marinee, quanto il risultato della completa demolizione che gli agenti fisici compierono, in ere geologiche di lavoro, di un imponente rilievo montuoso o anche il risultato del riempimento di una valle colle alluvioni depostevi dai fiumi che la percorrono. Nello stesso modo un rilievo montuoso può rappresentare non solo un rigonfiamento dovuto a causa vulcanica, come ritenevano quale regola generale Humboldt e i suoi seguaci, ma un corrugamento di strati, o anche le ruine di un antico altipiano sprofondatosi in parte, o i residui di una pianura incisa profondamente dalle acque. Tale complessità di cause che si nascondeva ai naturalisti dei tempi passati sotto l'apparente uniformità degli effetti, impone invece attualmente una grande complessità di distinzioni e di definizioni e gli scarni capitoli di Bergmann e Kant sulle forme terrestri si ingrossano perciò nei ponderosi volumi della

Morfologia della superficie terrestre di Penk (1894) dove il genio teutono, eminentemte sistematico, ha avuto campo di sfoggiare la più complicata *nomenclatura*.

Ma in mezzo a così intricata complessità di fatti emergono già fin d'ora dei principi generali cha dànno corpo ed anima a questo scheletro di definizioni. Ogni forma terrestre non rappresenta agli occhi del geofisico una specie definita, ma una fase di sviluppo, poichè le forze operatrici interne ed esterne continuano indefessamente nel loro lavoro. Ogni monte, ogni valle, ogni pianura segue un proprio ciclo evolutivo e il paesaggio di una regione presenta perciò nella serie dei secoli una progressiva trasformazione che è il riassunto delle trasformazioni dei suoi elementi costitutivi. Si può quindi parlare della gioventù, della maturità, della vecchiezza, di una forma o di un sistema di forme geografiche costituenti un paesaggio, come se si parlasse di un organismo vivo. Immaginiamo infatti che, per un movimento della crosta terrestre, siasi costituito un certo sistema di rilievi, di piani e di cavità. A tale rilievo risponde immediatamente una determinata distribuzione delle acque di deflusso, e la formazione di determinate correnti. In principio le correnti maggiori, ossia quelle che occupano le valli più basse e che raccolgono quindi anche tutte le acque delle valli superiori, incidono più rapidamente il proprio letto, che non le correnti minori e queste più delle acque dilavanti e non concentrate in correnti stabili delle regioni più elevate. Nella prima fase quindi il rilievo si accentua sempre più, finchè prima le correnti maggiori e poi le minori assumono il loro profilo regolare, si sono cioè formato un letto stabile. Allora le incisioni delle valli si arrestano mentre la degradazione delle creste continua, e più intensa di prima perchè la degradazione precedente ne ha aumentato le irregolarità ed ha quindi aumentato la superficie d'attacco dagli agenti atmosferici. Allora il rilievo invece di continuare, ad accentuarsi, comincierà a diminuire, e continuerà a diminuire con legge prima relativamente rapida e poi sempre più lenta, finchè tutta la regione sarà ridotta a una pianura ondulata. Così, come mette in evidenza il Davis (*Geographical Journal* Novembre 1899) a una breve giovinezza di crescente rilievo e di massima varietà di forme, segue un periodo di transizione nel quale il rilievo va decrescendo continuamente, ma sempre più lentamente, e infine una vecchiaja indefinitamente lunga nella quale gli ulteriori mutamenti sono estremamente lenti.

Ma se, durante questo lunghissimo ciclo, una nuova perturbazione endogena o una modificazione climatologica viene a rinnovare un dislivello che il processo evolutivo aveva già cancellato, una nuova gioventù ricomincia, e quindi un nuovo ciclo che può essere nelle forme affatto diverso dal primo, ma che è governato dalle stesse leggi. Con questa successione e sovrapposizione di ciclo si spiegano le più radicali trasformazioni del paesaggio continentale, la trasformazione di liete vallate in deserti, dell'orografia piu accidentata nella monotonia di una vasta pianura, o quella di una landa uniforme in colline verdeggianti ed irrigne.

Noi vediamo così risorgere verso la fine del secolo, ma su fondamenti meno fantastici e teleologici quel concetto animatore della natura, che dava funzione di organismi vivi alle forme esteriori della nostra madre terra. L'uomo assiste non impassibile, ma quasi del tutto impotente, a queste trasformazioni del suo domicilio terrestre, non fatte per lui, alle quali anzi egli cerca di adattarsi il meno male possibile, o dalle quali cerca di ricavare il maggior profitto possibile. Egli, come e forse più di tutti gli altri organismi animali e vegetali, non è un fattore trascurabile tra i mille fattori naturali che concorrono a regolare la vita della terra; egli modifica il corso dei fiumi, congiunge i mari, trasforma i monti, rallenta o accelera il lavoro di demolizione dei rilievi, o quello di colmata delle profondità, ma in complesso l'opera sua è ben piccola di fronte a quella ben più imponente degli agenti inorganici. La natura evolve per vita propria, quasi ignara della vita organica; non è dessa che diviene, come voleva la Filosofia naturale del principio del secolo, cosciente di sè nell'uomo, ma è l'uomo che diventa sempre più cosciente di sè nella natura; ma è la coscienza di una piccolezza quasi impotente.